

图解自动化技术丛书

图解

变频器应用

李 燕 廖义奎 王 永 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

图解自动化技术丛书

图 解

变频器应用

李 燕 廖义奎 王 永 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以应用为主线,采用图解的方式,结合大量应用实例,深入浅出地介绍变频器的原理及应用。从变频器的概论、工作原理、选型、基本操作方法、在自动控制系统中的应用、与 PLC 和触摸屏的结合以及综合应用案例等七个方面,较全面地分析和介绍变频器的工作原理与应用。在原理上,介绍了 U/f 恒定控制、PWM 原理、转差频率控制、矢量控制以及直接转矩控制等内容。在应用上,主要以部分最常见和应用最广泛的变频器为例,介绍变频器的选型、安装、配置、维护与基本操作;介绍变频器与 PLC、触摸屏、单片机、计算机的通信与综合应用;列举了变频器在自动化立体仓库、起重机、卷取机、拉线机等方面的应用实例;最后详细介绍了变频器在无人值守抽水系统、污水处理自动测控系统方面的应用实例。

本书可作为高等院校和职业院校工业自动化、机电一体化等相关专业教材、实验指导书,也可以作为从事自动化及相关专业的工程技术人员和操作人员工作参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

图解变频器应用 / 李燕, 廖义奎, 王永编著. —北京: 中国电力出版社, 2009

(图解自动化技术丛书)

ISBN 978-7-5083-8396-5

I. 图… II. ①李…②廖…③王… III. 变频器—图解 IV. TN773-64

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第010608号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.5印张 366千字

印数 0001—3000册 定价: 28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

变频器作为变频技术的产品,在我国工农业等各方面有着极其重要的地位。普及变频器的应用将对振兴经济、降低生产成本、提高我国企业的竞争力有着不可估量的作用。变频器在节能、提高工业生产自动化水平、提高产品质量、提高生产率、增加设备使用寿命和增加舒适度等方面有着很大的优势,因此,变频器的应用范围将越来越广。目前变频技术广泛应用于供水、污水处理、提升、输送、电梯、造纸、纺织、食品、机械、电力、建筑、钢铁、化工、塑料、畜牧业等领域。在能源紧缺、企业竞争日益激烈的情况下,学习和掌握变频器的原理及应用有着十分重要的意义。

变频器技术发展迅速,知识含量高,涉及多个学科技术领域,如何正确应用好变频器,更大程度地发挥变频器的功能,是广大变频器用户所关心的问题。从变频器型号的选择、安装、调试、参数设置,到与外围设备的连接综合应用、通信等,都是变频器用户需要考虑的问题。为了正确应用好变频器,就要求相关技术人员既掌握变频器的原理,又掌握变频器的应用技巧。本书从变频器原理到变频器的安装、调试,到变频器的应用实例等方面进行详细介绍,既有理论介绍,又有大量的实践经验讲解,方便读者更好地学习变频器应用技术。

主要内容

本书着重介绍了通用变频器的基本知识及使用方法。全书分为七章。第1章主要介绍变频调速的优点及变频器的现状、发展、分类及性能指标。第2章介绍了变频调速系统的基本结构,讲解了目前变频器产品采用的 U/f 恒定控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制四种控制方式的原理。第3章介绍了变频器用户如何按照容量、应用场合、负载类型等来选择变频器的型号,以及在变频器的使用中,如何安装、调试、维护及检查。第4章介绍了富士变频器的紧凑型 E11S 系列、小容量通用紧凑型 FRENIC-Mini 系列、高性能 G11S/P11S 系列、高性能矢量控制型变频器 VG7-UD 系列、FUJI G11UDII 电梯专用变频器及 FRENIC5000MS5 系列工具机床用变频器的特点、基本参数;介绍了西门子变频器的 G110 系列、ET 200S 系列的特点,重点介绍了 MM440 通用型变频器的参数、结构、操作及参数设置等,以富士变频器的高性能 G11S/P11S 系列为例,介绍了变频器的安装、基本配置、电气控制、操作与参数设置方法。第5章主要介绍了变频器在自动控制系统中的应用,内容包括变频器控制的设计、变频器通信、变频器与单片机的连接及变频器的 USS 控制协议,并以 VG7-UD 系列高性能矢量控制型变频器为样板,介绍了变频器在自动化立体仓库中的应用、变频器在起重机的应用、变频器在卷取机/卷出机控制系统中的应用及变频器在拉线机生产线中的应用四个应用案例。第6章在介绍了 PLC 的基本使用知识上,主要讲解变频器与 PLC 的连接以及变频器、PLC 及触摸屏的综合应用。第7章介绍变频器的综合应用实例,讲解了变频器在抽水系统中的应用和变频器在污水处理系统中的应用。

本书特点

本书运用图解的方式，深入浅出地讲解变频器原理及应用。图文并茂，并在图形旁适当标以注释，讲解通俗易懂，从而帮助读者更好地理解和学习。

读者对象

本书非常适合初学者和自学者使用，也可供技术培训及相关技术人员进行学习之用，亦可作为高等院校和职业院校相关专业的教材和参考书。

致谢

本书第1章～第3章由李燕编写，第4章～第7章由廖义奎编写，赵章彬参与了第4、5、6章西门子变频器和触摸屏部分的编写工作。在编写过程中，梁云做了大量的制图和核对工作，梁雪珍参与了部分章节的审核工作，同时还得到了陈永存、陈钧、王永和李忠华等技术人员的大力支持，在此表示感谢。

限于编者水平，加之编写时间紧，任务量大，书中难免存在错误和不足之处，恳请读者朋友批评指正。

编 者

2009年1月

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 调速传动概述	1
1.2 变频器的现状与发展趋势	5
1.3 变频器的分类与特点	10
1.4 变频器的性能指标	12
第 2 章 通用变频器的工作原理	14
2.1 交流调速系统的基本工作原理	14
2.2 变频调速系统的基本结构	16
2.3 变频器的控制方式与基本原理	18
第 3 章 变频器的选择与使用维护	35
3.1 变频器的选择	35
3.2 变频器的使用维护	39
3.3 变频器的应用领域	45
第 4 章 常见变频器的基本使用方法	49
4.1 富士变频器简介	49
4.2 西门子变频器简介	83
4.3 变频器的安装	106
4.4 变频器的调试方法	108
4.5 变频器的电气控制	117
4.6 变频器的操作与参数设置方法	125
第 5 章 变频器在自动控制系统中的应用	134
5.1 变频器控制柜设计	134
5.2 变频器通信	138
5.3 变频器与单片机的连接	146
5.4 变频器的USS控制协议	152
5.5 变频器在自动控制系统中的应用实例	155
第 6 章 变频器、PLC 以及触摸屏综合应用	163
6.1 变频器与PLC的连接	163

6.2	S7-200PLC和MM440联机实现接口开关控制	175
6.3	S7-200 PLC与组态软件的变频器15频段控制系统设计.....	177
6.4	CPU314C-2DP PLC和MM440联机实现模拟信号操作控制	184
6.5	PWS6600触摸屏监控S7-300与MM440变频器的DP 通信.....	187
第 7 章	变频器综合应用实例	192
7.1	变频器在抽水系统中的应用	192
7.2	变频器在污水处理系统中的应用	214
附录 A	MM440 故障信息及排除	225
附录 B	MM440 报警信息及排除	229
附录 C	采用 MM440 变频器 16 频段的组态应用程序动作程序	232
参考文献		239

绪 论

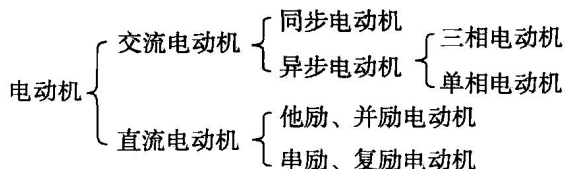
1.1 调速传动概述

1. 电动机种类

电动机是指依据电磁感应定律实现电能的转换或传递的一种电磁装置。电动机也称电机（俗称马达），在电路中用字母“M”（旧标准用“D”）表示。它的主要作用是产生驱动转矩，并作为用电器或各种机械的动力源，电动机常根据不同的情况而分成不同的类型。

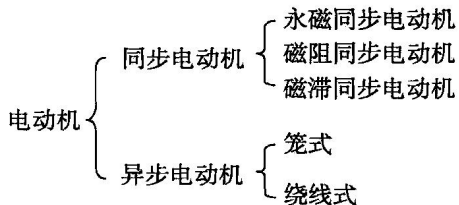
（1）按工作电源分类。

根据电动机工作电源的不同，可分为直流电动机和交流电动机，其中交流电动机还分为单相电动机和三相电动机。



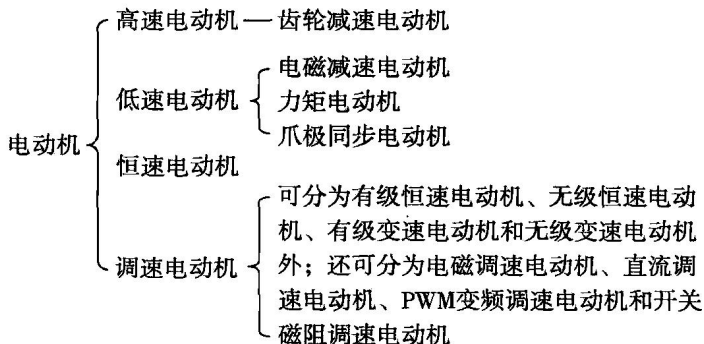
（2）按结构及工作原理分类。

电动机按结构及工作原理可分为异步电动机和同步电动机。



（3）按运转速度分类。

电动机按运转速度可分为高速电动机、低速电动机、恒速电动机和调速电动机。



在工业与日常生活应用中，经常是按工作电源进行分类，即按直流电动机和交流电

动机，下面将分别介绍这两种电动机的特点。

直流电动机控制简单、调速性能好，但其缺点是结构复杂、成本高、维护困难；交流电动机结构简单、成本低廉，但由于其数学模型复杂，要实现对其控制相对困难。长期以来，鉴于直流电动机控制简单、调速性能好，高性能的调速传动都采用直流电动机。直到 20 世纪 70 年代，席卷世界的石油危机迫使各国投入大量的人力和财力去研究占电气传动总容量 85% 的交流调速系统。

结构简单、价格低廉的三相交流异步电动机的发明在电力拖动史上有着十分重要的意义，因为它的转子电路不需要和外电路相连接，转子绕组由两侧端部互相短接的铜条或铝条（俗称“鼠笼条”）构成，可以自成回路，形状像个“鼠笼”，故常称为笼形电动机。

鼠笼型三相交流异步电动机及绕线型三相交流异步电动机的机械结构如图 1-1 所示。

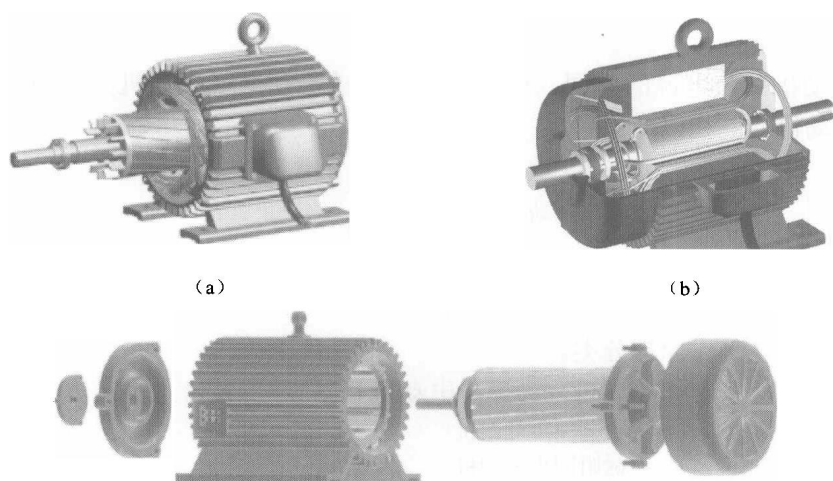


图 1-1 三相交流异步电动机机械结构图

(a) 鼠笼型异步电动机；(b) 绕线型异步电动机

鼠笼型异步电动机主要部件包括前端盖、转子铁心、转子绕组、定子铁心、定子绕组、机座、吊环、后端盖、出线盒、风扇以及风罩等，如图 1-2 所示。

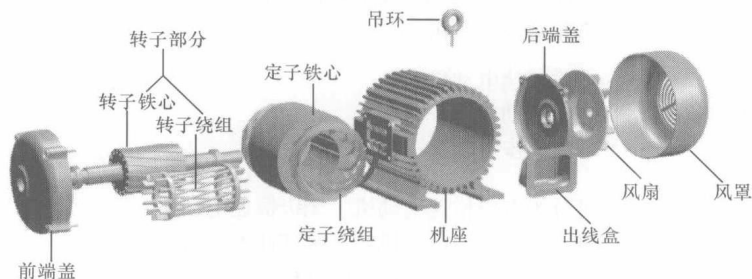


图 1-2 鼠笼型异步电动机主要部件拆分图

在所有电动机中，这种结构在简单、坚固方面是首屈一指的，因此，它具有使用寿

命长、易于维修以及价格低廉等极为突出的优点,使它在整个电力拖动应用领域独占鳌头。在20世纪80年代以前,约占工农业生产机械中电动机总量的85%以上。

在工业、农业、交通运输业和国防事业的许多应用中,都要求电力传动系统能够进行精确、灵活而连续的速度控制,并且能够稳定的运行。为了满足这些需求,过去一直主要使用直流电动机,然后调节直流电动机的电枢端电压或励磁电流就可方便地获得调速特性。但是,在调速传动系统中使用交流电动机具有更大的吸引力,这是因为交流电动机与直流电动机相比具有一系列显著的优点:

(1) 交流电动机不存在换向器圆周速度的限制,也不存在电枢元件中电抗电势数值的限制。

(2) 其转速可以设计得比相同功率直流电动机的转速更高,因而单位功率重量指标更低。例如,直流电动机的单位功率重量指标一般均在 5kg/kW 以上,而鼠笼异步电动机的仅在 $4 \sim 1.5\text{kg/kW}$ 之间。

(3) 交流电动机的电枢电压和电流的数值都不受换向器的限制,因而,其单机功率可比直流电动机的单机功率更大。

由以上三点可以看出,在要求增大电动机单机功率、减轻重量并且安装位置受到严格限制的场所(例如用于机车牵引电动机时)使用交流电动机更为合适。

(4) 交流电动机的结构简单,没有换向器那种复杂、精密、耗费制造工时的部件,又由于单位功率重量指标较低,因而其制造成本低廉。

(5) 直流电动机在高速范围运行时,由于电抗电势数值的限制,一般不能发挥其额定功率,即使是有补偿绕组的直流电动机,就是在最高速时的输出功率也仅能达到额定功率的80%,无补偿绕组的直流电动机就更低。而交流电动机没有这种限制,高速时仍可发挥较大的功率,甚至能以额定功率作恒功率长时间运行。

(6) 交流电动机没有换向器之类需要经常保养、维护的部件,在安装场地受限制、不易接近的场所也能使用。在环境恶劣的条件下,在不允许有火花的情况下也能可靠地工作。此外,维修费用低廉。

虽然交流电动机比直流电动机具有以上的许多优点,但是由于交流电动机的调速一直比较困难,所以,长期以来交流电动机只能作恒速运行,而在要求精度、灵活、连续调速的传动系统中,直流电动机调速一直占主要地位。然而,自从能源问题引起世界各国的普遍注意以来,在电力传动系统中如何节能也成为重要的课题。近年来,一方面随着电力电子器件和变频技术的迅速发展,用性价比较好的交流电动机调速传动系统代替直流电动机调速传动系统成为可能;另一方面,从节能的观点要求把原来作恒速运行的交流电动机传动系统改为调速传动。因而,在电力传动领域里交流电动机的调速传动系统的发展日益受到重视。

提示

交流异步电动机的优点:结构简单、工作可靠、维修方便、价格低廉、运行平稳,因此得到了广泛的应用(如机床、水泵等)占全国电动机容量的85%以上;缺点:调速比较困难。

2. 调速传动目的

在工业上进行调速传动能合理地控制电动机的机械运转状态实现优质、高产、节能的目的，常见的调速传动目的见表 1-1。

表 1-1 常见的调速传动目的

目 的	内 容
节能	风机、泵类机械根据流量要求调速；挤压机、搅拌机根据负载状态调节转速
自动化	可以把传送带、给料机、干燥机、烤炉、风扇、泵等多种机械适当地组合起来，协调运行，实现自动化控制
提高产品质量	根据加工对象，选择最佳的速度，平滑地加、减速以协调生产线内各装置的同步工作，提高产品质量和加工精度
提高生产率	在食品加工、金属加工、工业洗衣机、提升机、传送带、各类搬运机械等中实现最佳转速和加减速速度，可以提高生产率
提高产品合格率	在不损害产品质量条件下，设备加速时间最小化，实现克服外界各种干扰而提高速度的稳定性来提高产品合格率
增加设备使用寿命	采用对设备冲击小的启动、停止，空载时使设备低速运转，增加设备的使用寿命
增加舒适性	电梯、电车等，采用平滑加速、减速，以提高乘坐的舒适性
植物、家禽良好培植、养育	用变频器控制，可获得最佳的饲养环境，帮助动、植物发育
低噪声	根据负载降低转速，以减少机械的噪声

发展高效率的电动机是节能的一个方面，对经常处于额定负载附近工作的电动机，其效果是很好的。但在很多情况下，电动机所拖动的负载是变化的，因此电动机可能有相当一部分时间处于轻负载运行工况，此时，电动机效率降低，造成能源浪费。如果电动机能按输出负载的最佳转速运行，则所提高效率比高效率电动机的效果更大。这类最典型的例子是风机和泵类。拖动风机和泵类的电动机以往一直使用以恒速运行的交流电动机。由流体力学可知，风量（流量）与转速的一次方成正比，压力与转速的二次方成正比，风量（流量）与压力之积为负载功率。因此拖动风机和泵类的交流电动机的功率与转速的立方成正比。可是过去调节风机的风量，泵类的流量是靠调节风门或阀门来实现的，而电动机却始终以全速运行。这样当流量减少时，电动机的功率却没有降下来，一部分能量耗费在风门或阀门上。若用可调速的交流电动机，使电动机的转速随着所要求风量的减少而减少，则交流电动机能耗将大幅度减少，从而可节约大量电能，据分析，一般可节约 20%～50%。据统计，驱动风机和泵类的交流电动机所耗费电能大约占工业中耗电量的 1/2，因此，将原来一直采用交流电动机恒速传动的风机、泵类传动系统改为交流电动机调速传动，其节能效果较为显著。

随着各种高性能电力电子器件产品的出现、电子技术和自动控制技术的迅速发展，交流调速获得了飞速的发展。交流电动机的控制技术也得到了突破性进展，在交流调速中成功地应用了现代控制理论和智能控制理论，如最优控制、鲁棒控制、滑模变结构控制、基于微分几何方法的反馈线性控制、非线性自适应控制、基于李亚普诺夫控制的方法、基于无源型控制的方法、模糊控制、专家控制及神经网络控制。

随着微电子技术的发展，微处理器的运算能力和可靠性得到很大提高，使得在电气传动领域中，以微处理器为控制核心的全数字控制系统取代以前的模拟器件控制系统成

为可能。

由此可见，电子技术、自动控制技术及交流调速应用领域的不断扩展，交流调速在电气传动领域中越来越占有重要地位。

1.2 变频器的现状与发展趋势

交流异步电动机的转速公式为

$$n = 60 \frac{f_1}{p} (1 - s) = n_1 (1 - s) \quad (1-1)$$

由式(1-1)可以看出，要改变异步电动机的转速，可以采用三种方案，即改变极对数 p 、改变转差率 s 或改变定子电压供电频率 f_1 。在这三种方案中，改变极对数 p 是有级调速，调速范围有限。变转差调速在调速过程中存在与转差成正比的转差损耗，使得转子发热，系统效率降低。只有变频调速能实现平滑、无级地调节异步电动机的转速。而且这类系统中无论转速高低，所消耗的转差功率基本不变，因此效率最高。

变频调速技术作为应用范围最广和最具有发展前景的交流调速方法，既要处理巨大电能的转换（整流、逆变），又要处理信息的收集、变换和传输。因此，它的关键技术包括电力电子器件的应用技术、基于现代控制理论的控制策略和智能控制策略全数字控制技术。变频器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。

1. 电力电子器件的发展

电力电子器件为变频调速奠定了物质基础。电力电子器件是弱电控制强电的纽带，它经历了由不控到全控、由电流控制到电压控制这样一个发展过程，目前它正向大功率化、高频化、模块化、智能化方向发展。

20世纪六七十年代，以采用晶闸管为主流，其开关频率最高是几百赫兹，这是第一代功率器件。到了20世纪80年代，微电子技术与电力电子技术在各自发展的基础上相结合而产生了高频化、全控型的功率器件，主要有可关断晶闸管GTO、大功率晶体管GTR，其关断频率达到1~10kHz；功率场效应管MOSFET、绝缘栅晶体管IGBT、静电感应晶体管SIT等器件，其开关频率达十到几百千赫，这是第二代功率器件。到了20世纪90年代，基本形成了以IGBT及其智能模块IPM（Intelligent Power Module）为主导地位的局势，是目前通用变频器中最为广泛使用的主流器件，呈现高频化、大功率化和易于驱动的特点，其生命周期持续长，这是第三代功率器件。目前GTO器件最大开关频率达10kHz以上，IGBT达50kHz以上。功率器件开关频率示意图

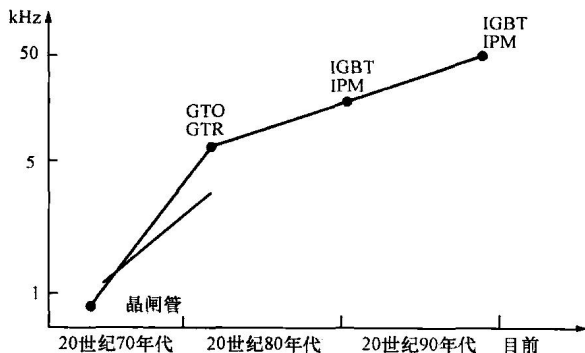


图 1-3 功率器件开关频率示意图

注：本示意图为主要功率器件速度大致发展图，器件种类不同、生产厂家不同、功率不同其数值也将不同。详细数值以生产厂家器件手册参数表为准。

如图 1-3 所示。

目前常用功率器件主要特性见表 1-2。

表 1-2 功率器件主要特性表

器件类型	最高电压 (V)	最大电流 (mA)	开关电压 (V)	价格
二极管	7000	10 000	1.0	低
半导体闸流管	7000	10 000	1.25	低
晶体管	1400	1200	2.5	中等
GTO	6000	3000	2.5	高
IGBT	3300	1800	2.5	中等
I/SGCT	6000	3000	2.0	中等

智能功率模块 (IPM) 是微电子技术 with 电力电子技术相结合的产物。它不仅具备提供一定的功率输出能力, 且具有逻辑、控制、传感、检测、保护和自诊断等功能, 而且内含驱动电路、保护电路, 可实现过流、短路、欠压和过压等保护, 还可实现电动机的再生制动。外界只需提供 PWM 信号给智能功率模块, 就能实现以往复杂的主电路及其外围电路的功能。

进入 21 世纪后, 可以预期还会出现新的更高性能的主电路功率元件, 已有的各种各样的电力电子元件的性能还会不断得以改进和提高。此外, 一个新的发展动向值得注意, 那就是大功率元件向集成化、智能化方向的发展。主电路功率元件正进入以新型器件为主的新时代, 将作为电力电子技术发展的决定性因素, 电力电子器件的研发及关键技术突破, 必然会促进电力电子技术的迅速发展, 进而促进变频调速技术的迅速发展。

2. 微处理器技术的发展

微处理器技术的进步使数字控制成为现代控制器的发展方向。变频调速控制系统是快速系统, 需要存储多种数据, 并快速实时处理大量信息。最初的变频调速控制都是采用分立元件的模拟电路, 后来随着电子技术的进步, 一些集成电路甚至专用集成电路被大量引用。这些电路大多为模拟数字混合电路, 它大大提高了变频调速的可靠性和抗干扰能力, 缩短了新产品的开发周期, 降低了研制费用。

过去 10 年里, 市场上较通用的变频器大多采用单片机来控制, 应用较多的是 8096MC 系列产品。但单片机的处理能力有限, 对采用矢量变换控制的系统, 由于需要处理的数据量大, 实时性和精度要求高, 单片机往往不能满足要求。20 世纪 80 年代初期出现的数字信号处理器 (DSP) 既增强了微处理器的数据处理能力, 又在片内集成了大量的外围接口, 因而在控制系统中得到广泛应用。DSP 通常采用哈佛结构, 将程序存储空间与数据存储空间分开, 并且各自拥有自己的数据总线和地址总线; 采用流水线技术, 使得指令处理的平均速度大大提高; 内部增设专门的硬件乘法器, 并将硬件乘法器与累加器以流水线方式连接, 从而可以高速连续进行乘法和累加运算。近几年来, 国外各大公司纷纷推出以 DSP 为基础的内核, 配以电动机控制所需的外围功能电路, 集成在单一芯片内的称为 DSP 单片电动机控制器, 价格大大降低、体积缩小、结构紧凑、使用便捷、可靠性提高, 确保了变频调速系统有更优越的控制性能。

TI 公司（德州仪器）于 2006 年 11 月推出了 4 款 32 位 DSP，即 TMS320F28015、F28016、F2801-60 和 F2802-60。TI 公司将其称为基于 DSP 的低成本控制器，每千片的价格根据型号不同在 4 美元 / 片左右，这 4 款 DSP 的主频均为 60MHz。这些 DSP 的设计强调了易用性的理念，同时针对电动机控制采用了 12 位 ADC、正交编码器接口、可多达 10 个独立 PWM 通道，还集成了 CAN、I2C、UART、SPI 等模块。特别是针对电动机控制应用方面，推出了高分辨率 PWM 模块（HRPWM），其分辨率可达 $150 \times 10^{-12} \text{s}$ 。当采用 16 位精度控制时，可以实现 100kHz 的控制周期；而采用 12 位控制时，可以实现 1.5MHz 控制周期。该特点针对提高控制系统的性能，降低变频器的体积和重量都将起到积极的作用。

目前，TI 公司宣布推出业界首款浮点数字信号控制器（Digital Signal Controllers, DSC）——TMS320F2833x，再次以创新技术推动工业应用的环保发展。新型 TMS320F2833x 能够以 150MHz 频率提供每秒 3 亿次浮点运算（MFLOPS），同时还能降低定点处理器的相关成本。该浮点处理器可帮助工业控制设计人员简化软件开发，增强系统性能，提高节能效率，因此能够使太阳能逆变器提高太阳能板的能量转换效率、改善变速交流（AC）驱动的功率与性能、增强汽车雷达应用的性能。TMS320F2833x 系列 DSC 内部结构如图 1-4 所示。

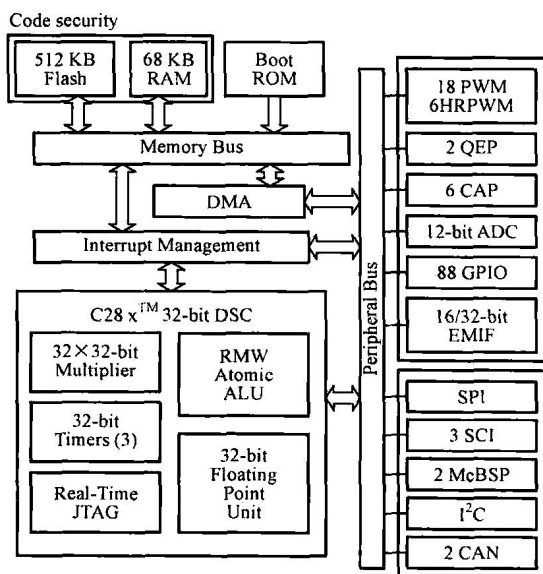


图 1-4 TMS320F2833x 系列 DSC 内部结构图

TMS320F2833x 系列 DSC 主要特点如下：

（1）电动机控制与可替换能源将进一步提高效率与性能。

F2833x 控制器的强大性能，可充分发挥最大功率点跟踪（MPPT）算法与动态调节的优势，并在电网（Utility Grid）上集成数据记录、电力线通信（PLC）与逆变器同步等更多系统特性。

由于浮点 F2833x 控制器实现了高集成度与高性能，因此采用 AC 感应电动机的机器人与计算机数字控制（CNC）机器可进一步改进控制技术，提高动态范围。采用 AC 伺服电动机的系统设计人员现在可实现更小型化、更节电的电动机。

（2）新型控制器使性能平均提高了 50%。

在保持 150MHz 时钟速率的情况下，新型 F2833x 浮点控制器与 TI 公司前代领先数字信号控制器相比，性能平均提高 50%。与作用相当的 32 位定点技术相比，快速傅里叶变换（FFT）等复杂计算算法采用浮点技术后性能提升可达 200%。由于添加了六通道直接存储器存取（DMA）控制器，超快速片上模数转换器（ADC）不再占用中央处理器单元（CPU）负载，而且还提供了用户可配置的 16 位或 32 位外部存储器接口与高速串行端口，因此整体系统带宽也得到了提高。

TMS320F2833x 系列 DSC 内部资源见表 1-3。

表 1-3

TMS320F2833x 系列 DSC 内部资源

型号	TMS320F28332	TMS320F28334	TMS320F28335
所属系列	F283x 浮点 MCU	F283x 浮点 MCU	F283x 浮点 MCU
CPU核	1 C28x	1 C28x	1 C28x
Peak MMACS	100	150	150
FPU	是	是	是
主频(MHz)	100	150	150
RAM	52KB	68KB	68KB
OTP ROM	2KB	2KB	2KB
Flash	128KB	256KB	512KB
EMIF	1 32/16-Bit	1 32/16-Bit	1 32/16-Bit
DMA	16-Ch	16-Ch	16-Ch
PWM	16-Ch	16-Ch	18-Ch
CAP/QEP	4/2	4/2	6/2
ADC	1 16-Ch 12-Bit	1 16-Ch 12-Bit	1 16-Ch 12-Bit
ADC 转换时间 (ns)	80	80	80
McBSP	1	2	2
I ² C	1	1	1
UART	2 SCI	3 SCI	3 SCI
SPI	1	1	1
CAN	2	2	2
Timers	3 32-Bit CPU, 1 WD	3 32-Bit CPU, 1 WD	3 32-Bit CPU, 1 WD
GPIO	88	88	88
内核电压(V)	1.9	1.9	1.9
IO电压(V)	3.3	3.3	3.3
适应温度(°C)	-40~85, -40~125	-40~85, -40~125	-40~85, -40~125

3. 控制方式的发展

变频调速控制理论技术的进展主要体现在由标量控制向高动态性能的矢量控制与直接转矩控制发展和开发无速度传感器的矢量控制和直接转矩控制系统方面。

变频调速系统目前应用最为广泛的是 U/f 恒定的开环控制方法，其控制系统结构最简单，成本最低，适应于对调速系统性能指标要求不高的场合。转速开环的缺陷是静、动态性能有限，要提高静、动态性能，首先要用带转速反馈的闭环控制。随后引入了转速闭环转差频率控制的变频调速系统，转速闭环的引入依赖于速度传感器。转差频率控制使得系统的性能有所改善，但是它仍然是从异步电动机稳态等效电路和转矩公式出发，动态性能不是很好。

20 世纪 70 年代初，德国西门子公司的 F.Blashke 等提出了“感应电动机磁场定向的

控制原理”，美国的 P.C.Cushman 和 A.A.Clark 申请的专利“感应电动机定子电压的坐标变换控制”，经过不断的实践和改进，形成现已得到普遍应用的矢量控制变频调速系统。其实质是将交流电动机等效为直流电动机，分别对速度、磁场两个分量进行独立控制。通过控制转子磁链，以转子磁通定向，然后分解定子电流而获得转矩和磁场两个分量，经坐标变换，实现正交或解耦控制。这样，通过坐标变换重建的电动机模型就可以等效为一台直流电动机。矢量控制的控制方法实现了异步电动机磁通和转矩的解耦控制，使交流传动系统的动态特性得到了显著的改善，从而开创了交流传动的新纪元。因为这种方法采用了坐标变换，需进行快速、复杂的数学运算，所以对控制器的运算速度、处理能力等要求较高，微处理器技术的发展为矢量变换控制的实现提供了良好的外部条件。近年来，经过各国科技工作者的努力，矢量变换控制的变频调速方法已广泛用于电气传动系统中。

1985 年德国鲁尔大学的德彭布罗克 (M. Depenbrock) 首次提出了直接转矩控制理论，它的出现在很大程度上解决了矢量控制中计算控制复杂、特性易受电动机参数变化的影响等问题。控制磁场定向所用的是定子磁链，只要知道定子电阻就可以把它观测出来。而矢量控制磁场定向所用的是转子磁链，观测转子磁链需要知道电动机转子电阻和电感。因此直接转矩控制大大减少了矢量控制中控制性能易受参数变化影响的缺陷，它是通过控制 PWM 型逆变器功率器件的切换方式，控制异步电动机的瞬时输入电压，在保持电动机定子磁链恒定的条件下，控制异步电动机定子磁链的瞬时旋转速度，来改变它对转子的瞬时转差率，直接控制电动机的瞬时电磁转矩及其变化率，得到电动机的快速动态响应。它的控制思想新颖，控制结构简单，控制手段直接，信号处理的物理概念明确。1995 年 ABB 公司首先推出了 ACS600 直接转矩控制系列变频器。

4. 变频器的总体发展趋势

由于变频技术的逐步成熟和电力电子产品的更加优化，变频器的总体发展趋势是向小型化、专用化、网络化、高水平控制的方向发展，更新的速度会大于以往的任何时候。

(1) 结构的小型化。

变频器的小型化就是向发热挑战，现在主电路中占发热量 50%~70% 的 IGBT 的损耗已大幅度减少。主电路中的功率电路的模块化、控制电路采用大规模集成电路和全数字控制技术，结构设计采用平面安装技术、冷却技术的发展等一系列措施促进了变频器小型化。

(2) 专用化。

出现专用型变频器是近年来的事，变频器家族中的通用变频器可以用来驱动通用型交流电动机，它在使用时具有多种可供选择的功能，能适应多种不同性质的负载。专用型变频器是相对通用型变频器而言的，其目的是针对有特殊要求的负载更好地发挥变频器的独特功能并尽可能地方便用户。例如，电梯专用变频器，要求可以四象限运行；要求频率的上升和下降速率呈 S 形，以使电梯可以平稳地加速和减速，用于交流电梯的 Siemens MICO340 系列和 FUJI FRN5000G11UD 系列，其他还有用于提升机、恒压供水、纺机专用、空调专用、机车牵引等专用系列。

(3) 网络化。

在网络化日益普及的今天，与普通的点对点硬线连接方式相比较而言，通过高速通

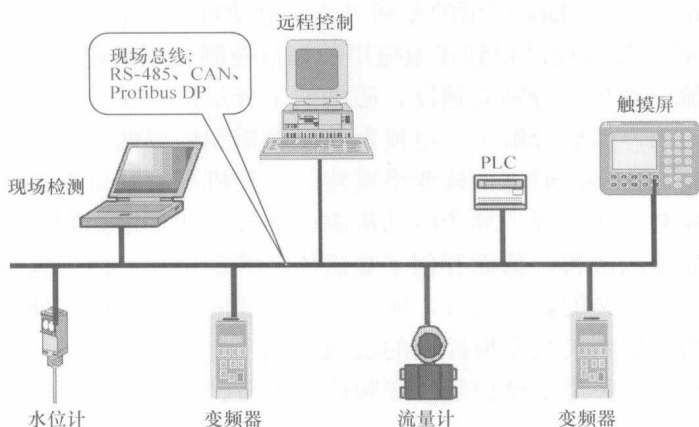


图 1-5 变频器控制的网络化图

信连接的变频器系统可以最大限度地降低系统维护时间、提高生产效率、减少运行成本。作为执行机构，变频器的网络化配置主要基于 3 个层面：设备层、控制层和信息层。可以配接最基本的 RS-232/RS-485 串行通信协议 Profibus 等的现场总线协议以及 Internet 局域网协议。目前安装的现场总线模块有 Profibus DP、Lnterbus、

DeviceNet、CAN Open 和 Modbus Plus 等。用户可以有更大的自由根据生产过程来选择 PLC 型号和品牌，并非常简单地集成到现有的网络中去。而且通过现场总线模块，可以不考虑变频器的型号，而以同一种编程语言和程序结构来与不同功率段不同型号的变频器进行组构，如功率、速度、转矩、电流和设定值等，变频器控制的网络化结构如图 1-5 所示。

（4）高水平的控制。

变频器控制方式将向数字化、多种控制方式结合、远程控制、无速度传感器控制系统、绿色变频器等方面发展。微处理器技术的发展为变频器全数字化成为可能，已有该类产品用于实际中。上述的几种控制方式有着各自的优缺点，今后相当一段时间内会是将现有的控制方式加以结合，互相取长补短，或将其他学科的理论、方法引入电动机控制，走交叉学科的道路。如将自适应控制与模糊控制相结合，直接转矩控制与神经网络控制相结合，这样控制效果会更好。近 10 多年来，各国学者和研究部门致力于无速度传感器控制系统的研究，利用检测定子电压、电流等容易测量的物理量进行速度估算，以取代速度传感器，提高控制系统的可靠性，降低成本，目前已研究出无速度传感器矢量控制系统的实用产品。随着对环境保护重要性的认识，变频器产生的高次谐波对电网产生的危害、变频器工作时的噪声污染等问题使得人们越来越重视绿色变频器的研发。

近年来，矩阵式变换器的研究成为热点，它具有如下优点：①能够实现能量双向流动，便于电动机实现四象限运行，输出电压幅值和频率宽度范围连续可调；②能够实现单位输入功率因数，而与负载阻抗特性无关，输入功率因数可任意调节；③实现功率集成后能够改善变换器内部的电磁兼容性；④结构简单，无储能元件，便于集成，能量密度大，传递能量效率高，是一种极有发展前途的电力环保产品。

1.3 变频器的分类与特点

变频器可按照变换频率方法、主电路工作方法、变频器调压方法以及控制方式等不同分成多种类型，见表 1-4。