

交流调速系统

陈伯时 陈敏逊 编著

第3版

电气自动化新技术丛书

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气自动化新技术丛书

交流调速系统

第 3 版

陈伯时 陈敏逊 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍现代交流调速系统的基本原理、数学模型、控制系统和应用性能,以理论联系实际、深入浅出作为编写方针。第2版在第1版的基础上,按照技术与应用发展的需要做了必要的扩充与修订,其中特别增加了“中压大容量变频技术”和“无速度传感器的高性能异步电动机调速系统”两章内容。第3版又按实际发展需要做了一定的增删,例如增加了SVPWM控制技术、绕线转子异步电动机双馈控制技术、基于模型参考自适应系统用PI闭环控制构造转速等内容。

本书主要供电气自动化领域的工程技术人员阅读和参考,也可作为大专院校相关专业的教学参考书,以及工程技术人员继续教育的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

交流调速系统/陈伯时,陈敏逊编著. —3版. —北京:
机械工业出版社, 2013.7
(电气自动化新技术丛书)
ISBN 978-7-111-43040-7

I. ①交… II. ①陈…②陈… III. ①交流调速
IV. ①TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第136930号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:孙流芳 责任编辑:孙流芳 罗莉
版式设计:常天培 责任校对:刘秀丽
责任印制:张楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年9月第3版·第1次印刷
169mm×239mm·12.75印张·255千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-43040-7
定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第6届《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会成员

主 任：王永骥

副 主 任：赵相宾 牛新国 赵光宙 孙 跃

阮 毅 何湘宁 霍永进

顾问委员：王 炎 孙流芳 陈伯时 陈敏逊

彭鸿才 尹力明

委 员：(按姓氏笔画为序)

王永骥 王 旭 王志良 牛新国

许宏纲 孙 跃 刘国海 李永东

李崇坚 阮 毅 陈息坤 汪 镭

沈安文 杜少武 张 浩 张承慧

张彦斌 何湘宁 赵相宾 赵光宙

赵 杰 赵争鸣 赵华强 赵荣祥

查晓明 徐殿国 常 越 霍永进

戴先中

秘 书：刘 娟 林春泉

《电气自动化新技术丛书》

序 言

科学技术的发展，对于改变社会的生产面貌，推动人类文明向前发展，具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合，特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天，电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问，电气自动化技术必将在建设“四化”、提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术，中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会，负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色：

一、本丛书是专题论著，选题内容新颖，反映电气自动化新技术的成就和应用经验，适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际，重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者，也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会

第6届《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会的话

自1992年本丛书问世以来,在中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会学会领导和广大作者的支持下,在前5届编辑委员会的努力下,至今已发行丛书53种55多万册,受到广大读者的欢迎,对促进我国电气自动化新技术的发展和传播起到了巨大作用。

许多读者来信,表示这套丛书对他们的工作帮助很大,希望我们再接再厉,不断地推出介绍我国电气自动化新技术的丛书。本届编委决定选择一些大家所关心的新选题,继续组织编写出版,欢迎从事电气自动化研究的学者就新选题积极投稿;同时对受读者欢迎的已经出版的丛书,我们将组织作者进行修订再版,以满足广大读者的需要。为了更加方便读者阅读,我们将对今后新出版的丛书进行改版,扩大了开本。

我们诚恳地希望广大读者来函,提出您的宝贵意见和建议,以使本丛书编写得更好。

在本丛书的出版过程中,得到了中国电工技术学会、天津电气传动设计研究所等单位提供的出版基金支持,在此我们对这些单位再次表示感谢。

第6届《电气自动化新
技术丛书》编辑委员会
2011年10月19日

第3版前言

本书于1998年出版第1版,2005年出版扩大篇幅的第2版,迄今又逾8年,交流调速技术和应用又有明显进展,为了适应客观需要,现再修订为第3版。但鉴于很多问题都已有专著问世,仅就下述比较突出的问题作出增删:

1) 第2版第3章“异步电动机转差功率馈送型调速系统——绕线转子异步电动机双馈调速系统”中着重阐述的晶闸管变流串级调速系统现已很少应用,而双馈控制在风力发电中的应用却又发展起来,因此将“串级调速”做较大的删减,并扩充“双馈控制”。但具体的风力发电技术已超出本书范畴,故而仅增加双馈控制特需的“双向PWM变流器”。鉴于“变频调速”已是交流调速系统中发展最快、应用最广的技术,应把它放在全书最显著的地位,所以在第3版中把原第3章拖后放到第8章,而把原第4~7章顺序前移为第3~6章。

2) 在第3版第3章中,增加“转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统”一节。

3) 在第4章中充实加强应用日益广泛的“电压空间矢量PWM(SVPWM)控制技术”一节内容。

4) 在第5章中删去仅在理论推导过程中有用的“在两相任意转速旋转坐标系上的数学模型”内容。

5) 将原第8、9两章合并为第7章:“异步电动机按动态模型控制的高性能调速系统”,包括矢量控制系统和直接转矩控制系统,并适度加强后者的设计方法方面内容。

6) 原第10章改为第9章,鉴于“模型参考自适应系统(MRAS)”技术在无速度传感器调速系统中研究和应用的发展与成就,增设“基于模型参考自适应系统用PI闭环控制构造转速”一节。

7) 原第11章改为第10章,并把主要的同步电动机调速系统分为:“直流励磁同步电动机调速系统”(侧重于大功率系统)和“永磁同步电动机调速系统”两大类。

第3版第1、2、3、6、7、9、10章由陈伯时执笔,第4、5、8章由陈敏逊执笔,两人相互审定,全书再由陈伯时统稿。

交流调速技术发展很快,笔者学识有限,工程实践经验不足,且均已届耄耋之年,退休后接触实际的机会更少,因此不深入甚至错误的问题在所难免,敬祈读者鉴谅,欢迎批评指正。

陈伯时 陈敏逊

2013年5月

第2版前言

自从本书第1版于1998年出版以来,交流调速技术又有很大发展,交流调速系统新装置的生产和应用已经大大超过了直流调速系统。为了适应技术发展,满足读者需要,我们着手编写第2版。将第1版共6章扩充修订成第2版的11章,主要修改或增加的内容如下:

(1) 在第2章中,增加了变压调速系统在“软起动器”和“轻载减压节能”中的应用。

(2) 在第3章中,扩大了“双馈调速系统”的篇幅,增加了“双馈调速的矢量控制”,并适当压缩“串级调速”部分。

(3) 原书第4章扩大成现在的第4章4.1、4.2节和第5章,加强对现已广泛应用的电压空间矢量PWM控制变频器的分析与阐述。

(4) 增设第6章:中压大容量变频技术,着重介绍“三电平逆变器”和“单元串联式多电平PWM变频器”。

(5) 原书第5章扩充改写成三章一节,即4.3节和第7、8、9章。具体是:第7章“异步电动机的动态数学模型和坐标变换”,其中增写了科技论文中普遍采用的“状态方程”;第8章“按转子磁链定向的矢量控制系统”;第9章“异步电动机按定子磁链控制的直接转矩控制系统”,第8、9章的内容均有更新。

(6) 增设第10章“无速度传感器的高性能异步电动机调速系统”,这是当前受到普遍重视的调速技术。但现有许多文献只是罗列了各种方法,我们编写时着重研究了它们的基本概念,把所有的无速度传感器控制方法划分成三种类型,对一些基本理论问题也做了分析与澄清。由于这是一个新的尝试,是否恰当,希望读者批评指正。

(7) 原第6章“同步电动机调速系统”现改为第11章,并作了一定的扩充。

鉴于本丛书是以工程技术人员为主要读者对象的,再版仍以理论联系实际、深入浅出作为编写方针。有些理论问题,虽然在交流调速的研究工作中常被采用,但目前尚无实际应用,本书亦不予论述。

本书第1、2、4、7~11章由陈伯时执笔,第3、5、6章由陈敏逊执笔,全书由陈伯时统稿。

交流调速技术发展很快,笔者学识有限、工程实践经验不足,遗漏和错误在所难免,殷切期望读者批评指正。

陈伯时 陈敏逊

2005年1月

第1版前言

自20世纪80年代以来,交流调速技术及其应用发展很快,在电气传动领域内,长期被认为是天经地义的“直传动调速、交流传动不调速”的分工格局已被彻底打破。交流调速系统在风机、水泵等的节能调速,轧钢机、机床、电力机车等的高动态性能调速,石化、纺织、轻工机械等的同步调速和一般性能调速,矿井卷扬机、厚板轧机等的大容量调速,高速磨头、离心机等的高转速调速诸方面,已经获得越来越广泛的应用。在这样的形势下,迫切需要系统地、理论联系实际地阐述交流调速系统原理和方法的书籍,以满足广大工程技术人员的需求。

1983年,我们主持了昆明“交流调速系统讲习讨论会”,邀请国内各大学7名教授共同讲授,并编写了讲义,会后由刘竞成教授主编,把讲义整理成《交流调速系统》一书,于1984年由上海交通大学出版社出版,解决了燃眉之急。后由全国高校工业电气自动化专业教学指导委员会定为“推荐教材”。80年代后期,在电力电子和微机控制迅速发展的推动下,交流调速技术又有了很大进展,我们和刘宗富、王正元等教授一起编写了《现代电力电子器件与交流调速》,于1990年6月出版,并由中国自动化学会电气自动化专业委员会等举办研讨会多次,进行宣讲与推广。在上述两本书的基础上,我们又对交流调速系统的规律和体系进行了整理和提高。对于异步电机调速系统,改变了以往仅罗列调速方法的体系,从提高能量转换效率的角度看,归纳成转差功率消耗型、转差功率回馈型和转差功率不变型三种类型,而同步电机没有转差功率,所以只能有转差功率不变型,这样就建立起交流调速系统新的统一体系。按照这一思路,再把交流调速系统和直流调速系统合在一起,编写了《电力拖动自动控制系统》教材,于1992年由机械工业出版社出版。该书出版发行后很受读者欢迎,但受到教材发行政策上的限制,除高等学校预订以外,在市面上不易买到。为此再利用《电气自动化新技术丛书》这块园地,把交流调速系统单独提出来,并吸收近年来技术进步的新内容,重新编写成书,以飨读者。鉴于丛书中已有一些单独介绍某种具体的交流调速的内容,本书把重点放在调速系统的原理和自动控制规律方面,对于具体装置只作概述,以免重复。

本书共分6章。第1章绪论,简述交流调速系统的发展和基本类型,并介绍作为现代交流调速系统物质基础的电力电子技术和微机控制技术的最新进展。第2章讨论异步电机转差功率消耗型的调速系统,着重分析闭环控制的变压调速系统和电磁转差离合器调速系统。第3章分析异步电机转差功率回馈型调速系统,即串级调速系统。第4章首先阐明异步电机变压变频调速的基本原理,然后简述静止式电力

电子变频器的特点,其中对目前普遍应用的全控制器件 SPWM 变频器作重点介绍。第 5 章介绍异步电机转差功率不变型的变压变频调速系统,其中重点阐述矢量控制系统,并扼要地介绍直接转矩控制系统。异步电机的多变量数学模型和坐标变换是分析矢量控制的必要工具,但为了节省篇幅,本书只着重说明其概念与应用,而不作过多的公式推导。最后,在第 6 章中分析同步电机的调速系统。本书第 3 章和第 4 章的 4.4 节、4.5 节由陈敏逊执笔,其余章节由陈伯时执笔,全书由陈伯时统稿。

交流调速技术近年来发展很快,几乎达到日新月异的地步,笔者学识有限,很难把所有新技术都全面完整地反映出来,遗漏和错误在所难免,殷切期望读者批评指正。

陈伯时 陈敏逊

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

第6届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话

第3版前言

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论	1
1.1 交流调速系统的发展和应用	1
1.2 交流调速系统的基本类型	2
1.2.1 异步电动机调速系统的基本类型	2
1.2.2 同步电动机调速系统的基本类型	3
1.3 现代交流调速的技术基础	3
第2章 异步电动机转差功率消耗型调速系统	5
2.1 异步电动机恒频变压调速系统	5
2.1.1 异步电动机恒频变压调速电路	5
2.1.2 异步电动机改变电压时的机械特性	6
2.1.3 闭环控制的恒频变压调速系统及其静特性	8
2.2 异步电动机恒频变压调速时的转差功率损耗分析	9
2.3 变压控制在软起动器和轻载减压节能运行中的应用	11
2.3.1 轻载减压节能运行	12
2.3.2 软起动器	13
第3章 异步电动机变压变频调速原理和按稳态模型控制的转差功率不变型 调速系统	15
3.1 异步电动机变压变频调速的基本控制方式	15
3.1.1 基频以下调速	15
3.1.2 基频以上调速	16
3.2 异步电动机电压-频率协调控制时的稳态特性	17
3.2.1 异步电动机的稳态等效电路和感应电动势	17
3.2.2 恒压恒频正弦波供电时异步电动机的机械特性	17
3.2.3 基频以下电压-频率协调控制时的机械特性	18
3.2.4 基频以上恒压变频控制时的机械特性	21
3.3 笼型异步电动机恒压频比控制的调速系统	22
3.3.1 转速开环恒压频比控制调速系统的构成	22

3.3.2 转速开环恒压频比控制调速系统的控制作用	24
3.4 转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统	25
3.4.1 转差频率控制的基本概念	25
3.4.2 基于异步电动机稳态模型的转差频率控制规律	25
3.4.3 转差频率控制的变压变频调速系统	26
第4章 静止式变压变频器和 PWM 控制技术	28
4.1 静止式变压变频器的主要类型	28
4.1.1 交-直-交和交-交变压变频器	28
4.1.2 电压源型和电流源型逆变器	31
4.1.3 180°导通型和 120°导通型逆变器	32
4.2 六拍交-直-交变频器输出电压的谐波分析	36
4.2.1 谐波分析	36
4.2.2 变频器输出谐波对异步电动机工作的影响	38
4.3 正弦波脉宽调制 (SPWM) 控制技术	41
4.3.1 基本思想	41
4.3.2 正弦波脉宽调制原理	42
4.3.3 SPWM 波的基波电压	45
4.3.4 脉宽调制的制约条件	47
4.3.5 同步调制与异步调制	48
4.3.6 SPWM 波的实现	50
4.3.7 SPWM 变压变频器的输出谐波分析	53
4.4 消除指定次数谐波的 PWM (SHEPWM) 控制技术	56
4.5 电流滞环跟踪 PWM (CHBPM) 控制技术	57
4.6 电压空间矢量 PWM (SVPWM) 控制技术	61
4.6.1 电压空间矢量	61
4.6.2 电压空间矢量与磁链空间矢量的关系	64
4.6.3 六拍阶梯波逆变器供电时异步电动机的基本电压矢量	64
4.6.4 六拍阶梯波逆变器供电时异步电动机的旋转磁场	67
4.6.5 期望电压空间矢量的形成	69
4.6.6 SVPWM 的实现方法	71
4.6.7 SVPWM 控制时的电动机定子磁链	72
4.6.8 SVPWM 控制时逆变器的输出电压	74
4.7 桥臂器件开关死区对 PWM 变压变频器工作的影响	76
4.7.1 死区及其对变压变频器输出波形的影响	76
4.7.2 死区对变压变频器输出电压的影响	77
第5章 中压大功率变频技术	79
5.1 中压大功率变频技术的各种方案	79
5.2 三电平逆变器	80

5.2.1	工作原理	80
5.2.2	中性点箝位型逆变器工作状态的切换	82
5.2.3	中性点箝位型逆变器的输出电压波形	83
5.2.4	中性点箝位型逆变器的特点	85
5.2.5	三电平逆变器的控制策略	86
5.3	单元串联式多电平 PWM 变频器	90
5.3.1	单元串联式多电平变频器的工作原理	90
5.3.2	变频器整流电路的多重化连接	92
5.3.3	多电平移相式 PWM 控制	95
第 6 章	异步电动机的动态数学模型和坐标变换	98
6.1	异步电动机动态数学模型的性质	98
6.2	三相异步电动机的多变量非线性动态数学模型	99
6.2.1	电压方程式	100
6.2.2	磁链方程式	100
6.2.3	转矩方程式	103
6.2.4	电气传动系统的运动方程式	104
6.2.5	三相异步电动机的动态数学模型	104
6.3	坐标变换和变换矩阵	105
6.3.1	坐标变换的原则和基本思路	105
6.3.2	三相-两相变换 (3/2 变换)	107
6.3.3	两相-两相旋转变换 (2s/2r 变换)	108
6.3.4	直角坐标-极坐标变换 (K/P 变换)	109
6.4	三相异步电动机在两相正交坐标系上的动态数学模型	110
6.4.1	异步电动机在静止两相正交坐标系 ($\alpha\beta$ 坐标系) 上的动态数学模型	110
6.4.2	异步电动机在两相同步旋转坐标系 (dq 坐标系) 上的动态数学模型	112
6.5	三相异步电动机在两相坐标系上的状态方程式	114
6.5.1	$\omega-\psi_r-i_s$ 状态方程式	114
6.5.2	$\omega-\psi_s-i_s$ 状态方程式	116
第 7 章	异步电动机按动态模型控制的高性能调速系统	117
7.1	矢量控制系统的发展历史和基本思路	117
7.2	按转子磁链定向的矢量控制方程式及其解耦控制	119
7.3	转子磁链模型	121
7.3.1	计算转子磁链的电流模型	122
7.3.2	计算转子磁链的电压模型	124
7.3.3	电压模型与电流模型的选择和切换	125
7.4	转速、磁链闭环控制的矢量控制系统——直接矢量控制系统	125
7.4.1	带磁链除法环节和电流内环的直接矢量控制系统	125
7.4.2	带转矩内环的直接矢量控制系统	126

7.5	磁链开环转差型矢量控制系统——间接矢量控制系统	127
7.6	异步电动机按定子磁链砰-砰控制的直接转矩控制系统	129
7.6.1	直接转矩控制系统的发展历史和基本特点	129
7.6.2	定子磁链和转矩反馈模型	130
7.6.3	定子电压矢量开关状态的选择	131
7.6.4	直接转矩控制系统与矢量控制系统的比较	133
7.6.5	改善直接转矩控制系统性能的方案	135
第8章	异步电机转差功率馈送型控制系统——绕线转子异步电机 双馈控制和串级调速	137
8.1	绕线转子异步电机双馈时的转子回路	137
8.1.1	异步电机转子回路附加电动势的作用	138
8.1.2	转子回路的电力变流单元	139
8.2	异步电机双馈控制的五种工况	140
8.2.1	次同步转速电动状态	140
8.2.2	反转倒拉制动状态	141
8.2.3	超同步转速回馈制动状态	141
8.2.4	超同步转速电动状态	142
8.2.5	次同步转速回馈制动状态	142
8.3	绕线转子异步电动机串级调速系统	143
8.3.1	电气串级调速系统的组成	143
8.3.2	串级调速系统的起动、调速与停车	144
8.3.3	异步电动机串级调速机械特性的特征	146
8.3.4	串级调速装置的电压和功率	148
8.3.5	串级调速系统的效率和功率因数	149
8.3.6	其他类型的串级调速系统	151
8.3.7	串级调速系统的双闭环控制	153
8.4	绕线转子异步电机双馈控制技术	153
8.4.1	双馈控制的工况与应用	153
8.4.2	双馈工作作用的 AC/DC 双向 PWM 变流器	155
第9章	无速度传感器的高性能异步电动机调速系统	159
9.1	开环计算角速度——基于电动机数学模型计算转子角速度或角转差	159
9.1.1	利用转子电动势计算同步角速度后求得转子角速度	160
9.1.2	利用转矩计算转差角速度后求得转子角速度	163
9.2	闭环构造角速度——基于闭环控制作用构造角速度信号	163
9.2.1	比较定子电流转矩分量用 PI 闭环控制构造角速度	164
9.2.2	比较电磁转矩用 PI 闭环控制构造角速度	165
9.2.3	比较转子磁链的电压、电流模型用 PI 闭环控制构造角速度	165
9.2.4	比较定子电压用 PI 闭环控制构造角速度	166

9.2.5 比较定子电流用 PI 闭环控制构造角速度	167
9.2.6 基于模型参考自适应系统用 PI 闭环控制构造角速度	167
9.3 特征信号处理——利用电动机结构上的特征产生角速度信号	169
9.3.1 检测转子齿谐波磁场的感应电动势产生角速度信号	169
9.3.2 注入高频信号获取角速度信号	170
第 10 章 同步电动机调速系统	171
10.1 同步电动机的特点和类型	171
10.2 转速开环恒压频比控制的同步电动机群调速系统	172
10.3 直流励磁同步电动机调速系统	173
10.3.1 负载换相交-直-交电流型变频直流励磁同步电动机调速系统	173
10.3.2 交-交变压变频器供电的大功率低速直流励磁同步电动机调速系统	173
10.3.3 按气隙磁场定向的同步电动机矢量控制系统	174
10.3.4 直流励磁同步电动机的多变量动态数学模型	178
10.3.5 交-直-交电压源型变频器供电的直流励磁同步电动机调速系统	180
10.4 永磁同步电动机调速系统	181
10.4.1 梯形波永磁同步电动机（无刷直流电动机）调速系统	182
10.4.2 正弦波永磁同步电动机调速系统	185
参考文献	188

第1章 绪 论

1.1 交流调速系统的发展和应用

直流电气传动和交流电气传动在 19 世纪先后诞生。在 20 世纪上半叶, 鉴于直流传动具有优越的调速性能, 高性能可调速传动大都采用直流电动机, 而约占电气传动总功率的 80% 以上的不变速传动系统则采用交流电动机, 这种分工在一段时期内成为一种举世公认的格局。交流调速系统的多种方案虽然早已问世, 并已获得实际应用, 但其性能却始终无法与直流调速系统相匹敌。直到 20 世纪 60 ~ 70 年代, 随着电力电子技术的发展, 实现了采用电力电子变流器的交流传动系统, 而大规模集成电路和计算机控制的出现, 更使高性能交流调速系统得到发展, 交直流传动按调速性能分工的格局终于被打破了。这时, 和交流电动机相比, 直流电动机的缺点日益显露出来, 例如, 因具有电刷和换向器而必须经常检查维修, 换向火花使它的应用环境受到限制, 换向能力限制了直流电动机的功率和转速等。于是, 用交流调速传动取代直流调速传动的呼声越来越强烈, 交流传动控制系统已经成为电气传动控制的主要发展方向。21 世纪初, 在全世界调速电气传动产品中, 交流传动已占 2/3 以上, 现在更已处于绝对优势的地位。

目前, 交流传动系统的应用领域主要有下述三个方面:

1. 一般性能的节能调速和按工艺要求调速

在过去大量的所谓“不变速交流传动”中, 风机、水泵等通用机械的电动机功率几乎占工业电气传动总功率的一半, 其中有不少场合并不是不需要调速, 只是因为过去的交流传动本身不能调速, 不得不依赖挡板和阀门来调节送风和供水的流量, 因而把许多电能都白白地浪费了。如果改造成交流调速系统, 把消耗在挡板和阀门上的能量节省下来, 每台风机、水泵平均都可以节约 20% ~ 30% 的电能, 其效果是很可观的。而且风机、水泵对调速范围和动态性能的要求都不高, 只要有一般的调速性能就足够了。

许多在工艺上需要调速的生产机械过去多用直流传动, 鉴于交流电动机比直流电动机结构简单、成本低廉、工作可靠、维护方便、转动惯量小、效率高, 如果改用交流传动, 显然能够带来不少的效益, 于是一般按工艺要求需要调速的场合也纷纷采用交流调速。

2. 高性能的交流调速系统和伺服系统

由于交流电动机的电磁转矩难以像直流电动机那样与电枢电流成正比地直接控

制，交流调速系统的控制性能在历史上一直赶不上直流调速系统。直到 20 世纪 70 年代初发明了矢量控制技术（或称磁场定向控制技术），通过坐标变换，把交流电动机的定子电流分解成转矩分量和励磁分量，分别控制电动机的转矩和磁通，可以获得和直流电动机相仿的高动态性能，才使交流电动机的调速技术取得了突破性的进展。其后，又陆续提出了直接转矩控制、解耦控制等方法，形成了一系列可以和直流调速系统媲美的高性能交流调速系统和交流伺服系统。

3. 特大功率、极高转速的交流调速

直流电动机的换向能力限制了它的功率转速积不能超过 $10^6 \text{ kW} \cdot \text{r/min}$ ，否则其设计与制造就非常困难了。交流电动机没有换向问题，不受这种限制，因此特大功率的电气传动设备（如厚板轧机、矿井卷扬机、巨型电动船舶等电气传动设备），以及极高转速的电气传动设备（如高速磨头、离心机等电气传动设备），都以采用交流调速为宜。

1.2 交流调速系统的基本类型

交流电动机有异步电动机（即感应电动机）和同步电动机两大类，每种电动机又都有不同类型的调速方法。

1.2.1 异步电动机调速系统的基本类型

电机学原理告诉我们，在多相对称绕组中通入多相平衡的交流电流，可产生转速恒定的旋转磁场，其转速称作同步转速 n_1 。若以 f_1 表示电源频率， ω_1 表示电源角频率， p_n 表示电动机极对数，则

$$n_1 = \frac{60f_1}{p_n} = \frac{60\omega_1}{2\pi p_n} \quad (1-1)$$

异步电动机的实际转速 n 总是低于同步转速 n_1 的，转速差 $n_1 - n$ 与 n_1 之比称作转差率 s ，其表达式为

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-2)$$

或
$$n = (1 - s)n_1 \quad (1-3)$$

显然，人为地改变同步转速 n_1 或转差率 s ，都能调节转速。

现有文献中介绍的异步电动机调速方法种类繁多，常见的有：①减电压调速；②绕线转子电动机转子回路串电阻调速；③绕线转子电动机串级调速和双馈电动机调速；④变极对数调速；⑤变压变频调速等。在研究开发阶段，人们从多方面探索调速的途径，因而种类繁多是很自然的。现在交流调速的发展已经比较成熟，为了深入掌握其基本原理，就不能满足于这种表面上的罗列，而要进一步探讨其本质，认识交流调速的基本规律。

按照交流异步电动机的原理，从定子传入转子的电磁功率 P_m 分成两部分：一