

949935

电力变频调速与节能

TM343

3742

冯 垛 生 编著



贵州科技出版社

电力变频调速与节能

冯垛生 编著

贵州科技出版社

一九九一·十二·

电力变频调速与节能 **冯焱生 编著**

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路289号 邮政编码550001)

*

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092毫米 32开本 12印张 260千字

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数1—5000

ISBN 7-80584-146-2/TM·001 定价：5.70元

推荐者的话

近年来,由于SCR的性能显著地提高,且在高耐压、大电流方面取得出色的进展,特别是具有自关断能力的元件GTO和GTR的容量等级也迅速提高;高速开关MOSFET、IGBT、SIT等新元件相继出现,开关器件已是半导体动力变换控制所不可欠缺的。电力电子学的进步,使得电动机的调速技术出现了新的持续地突破。

过去,电动机的调速主要是指直流调速。而今用逆变器的交流调速,由于频率可自由变化,拖动的异步电动机和同步电动机结构简单、牢固、维修方便,故用逆变器的交流调速已成为当今调速的主流。再由于微机的导入,将使控制技术精密化和控制方式多样化。例如,逆变器电压、电流的脉宽调制技术使输出能得到正弦波形,使电动机噪音减小,低速时不产生脉动力矩,驱动非常平滑。又如,异步电动机的转差频率和矢量控制有可能应用于急剧加减速的轧钢、电车、电梯等拖动系统中。FA设备的实用化研究,又使家用电器中出现一种所谓逆变器式空调的新品种。由于微机应用的广泛,使拖动系统控制精度和故障诊断能力均有所提高。

目前,日本的动力用半导体元件的生产以及电力电子学的应用,在世界上均已处于领先地位。本书的作者,广东工学院副教授冯焱生受中国政府派遣,作为访问研究员来到九州大学。从1987年11月起,在我的研究室进行为期两年的访问

研究，他的研究方向是微机控制PWM 逆变器在交流调速中的应用。在此研究领域，他利用日本的元器件和测试技术，作了大量试验研究工作，并对有关技术文献进行收集。他还有机会访问了日本很多大学、研究所、电机制造厂等。可以说，他已掌握了当今世界及日本电力电子学应用于交流调速的发展动向。在此基础上，他利用日本的资料、文献和自己的研究成果，写出这本专著。

本书概括了最新的大功率半导体器件；异步机变频调速的基础理论；各种逆变器和交流变频器的原理；各种变频调速系统和微处理机的具体应用等。本书能把上述内容有机地结合起来，并加以简明扼要的叙述。

相信本书对电气、电子工程系的学生，以及在此专业领域工作的工程技术人员、研究人员在学习最新调速技术时，对有关概念的加深理解，会大有裨益。为此，本人特将本书慎重地推荐给中国读者。在此，我对著作本书的冯氏不辞辛劳的努力表示崇高的敬意。

日本国九州大学电气工程系
工学博士 教授 野中作太郎

1989年11月4日 于日本福岡市

前 言

目前，我国正兴起深入研究和推广应用交流变频调速节能技术的高潮。由于历史的原因，这一技术比发达国家落后，“大体上是处于国外发展的60年代末、70年代初的水平”（参考文献9）。

作为专业工作者，为此深感奋进、自强的迫切。我在日本进修研究的数年间，即孜孜于此进行观察、收集、整理，力求探索幽微、取长补短，渴望有朝一日，能对祖国建设尽一份赤子心意。回国前，即以异步电动机的交流变频调速为主，写出本书的初稿6章，除以两章简要概述一些必需的基础知识外，绝大部分篇幅均为实用内容，计有：大功率半导体开关器件、交直交逆变器、交交变频器、变频调速控制系统等。回国后，在广东省计算机联合公司、贵州科技出版社和广州经济技术开发区科能电力电子有限公司的帮助下，加写了微机控制在变频调速系统中的应用、异步电动机变频调速在节能技术中的应用。全书共8章，进一步针对国内现况，把新起的有关尖端科技介绍到各实用领域。鉴于本书可作有关院校教研参考，又加写了书末的28个思考问题。至此，耿耿初衷，可期于成，惟恐个人水平有限，不足和误、漏难免，敬希读者指正以臻再版。

本书蒙广东工学院领导关怀指导，由符曦教授、黄维国教授、沈起奋副教授、杨文伟和陈林康老师审稿，对内容、

文字、符号、编排等都提出大量具体意见，许海珠同志和野中作太郎教授对本书的写作一直给予很大的支持与鼓励，均衷心致谢。

作 者

1991年 7 月
于广东工学院

内 容 简 介

本书以节电实用为目的，介绍新兴的电力交流变频调速技术。作者就长期专业心得及在日本访问研究两年间的涉猎，力求探索幽微、取长补短，除简述必需的基础知识外，多为国内实用内容，计有：大功率半导体开关器件、交直交逆变器、交交变频器、变频调速控制系统、微机在变频调速中的应用、异步电动机变频调速在节能技术中的应用等，书末附28个思考问答题，可供有关工程技术及院校教研参考。

目 录

第一章 概 述	(1)
§ 1-1 电力电子学的发展和交流调速.....	(1)
§ 1-2 鼠笼式异步机变频调速的分类.....	(5)
第二章 变频调速的电力拖动原理	(9)
§ 2-1 异步机的机械特性和传递函数.....	(9)
§ 2-2 异步机变频调速的电力拖动问题.....	(19)
第三章 大功率半导体开关器件	(29)
§ 3-1 概述.....	(29)
§ 3-2 近代SCR元件的大功率化和高速化.....	(30)
§ 3-3 静电感应型SCR(SI SCR)	(37)
§ 3-4 控制极可关断可控硅(GTO)	(42)
§ 3-5 大功率晶体管(GTR)	(49)
§ 3-6 大功率场效应管(MOSFET)	(57)
§ 3-7 大功率元件的模块化和IC化.....	(60)
§ 3-8 各种开关元件的性能比较和选用.....	(62)
第四章 交直交逆变器	(67)
§ 4-1 概述.....	(67)
§ 4-2 电压型逆变器.....	(78)
§ 4-3 电流型逆变器.....	(89)
§ 4-4 多重式逆变器.....	(97)
§ 4-5 PWM逆变器.....	(111)

第五章 交交变频器	(142)
§ 5-1 基本概念和工作原理.....	(142)
§ 5-2 控制极输入信号的规律.....	(146)
§ 5-3 交交变频器的主回路.....	(147)
§ 5-4 有环流交交变频器.....	(153)
§ 5-5 不对称无环流交交变频器.....	(155)
§ 5-6 交交变频器的组合电路.....	(158)
第六章 异步机变频调速控制系统	(160)
§ 6-1 异步机的 v/f 控制系统.....	(160)
§ 6-2 异步机的 sf 控制系统.....	(173)
§ 6-3 异步机的坐标变换原理.....	(179)
§ 6-4 异步机变频调速的矢量控制系统.....	(200)
第七章 微机控制在异步机变频调速系统中的应用	(219)
§ 7-1 单板机构成的逆变器控制电路.....	(219)
§ 7-2 单片机构成的异步机变频调速 v/f 控制 系统.....	(232)
§ 7-3 单板机构成的电压型 PWM 逆变器控制 系统.....	(240)
§ 7-4 大规模集成电路和微机控制相结合的电压 型 PWM 逆变器控制系统.....	(262)
§ 7-5 应用微机的矢量控制系统.....	(301)
§ 7-6 微机控制变频装置产品.....	(307)
第八章 异步机变频调速在节能技术中的应用	(332)
§ 8-1 变频调速在风机节能中的应用.....	(332)
§ 8-2 变频调速在水泵节能中的应用.....	(337)
§ 8-3 变频调速在工作母机节能中的应用.....	(339)

§ 8-4	变频调速在高速电梯节能中的应用·····	(342)
§ 8-5	变频调速在家用空调器节能中的应用·····	(348)
§ 8-6	变频调速在轻工机械节能中的应用·····	(348)
§ 8-7	变频调速在精纺机节能中的应用·····	(353)
§ 8-8	变频调速在农业节能中的应用·····	(355)
附录 思考题 ·····		(361)
参考文献 ·····		(369)

第一章 概 述

§1-1 电力电子学的发展和交流调速

随着晶体管 (T)、集成电路 (IC)、大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI) 的相继开发, 使电子学得到惊人的发展, 在通讯、计算、信息、家用等领域内导致了一场空前规模的技术革命。

过去, 人们习惯于把电气领域区分为强电和弱电两个截然分划的概念; 把电子学归类于弱电领域, 认为弱电是传递微弱的信息而与电力无关。电力电子学 (POWER ELECTRONICS) 的定名从1960年才开始, 初期还不太统一。1973年的电力电子学会上, 美国西屋电气公司的NEWELL博士才明确地定义了电力电子学的模式 (图1-1), 把电工学科的电力、电子、控制三大领域结合起来, 成为一个新的概念, 使人对电力电子学的定义一目了然。

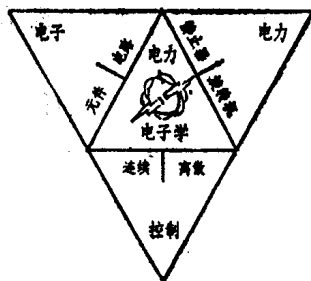


图1-1 电力电子学的定义

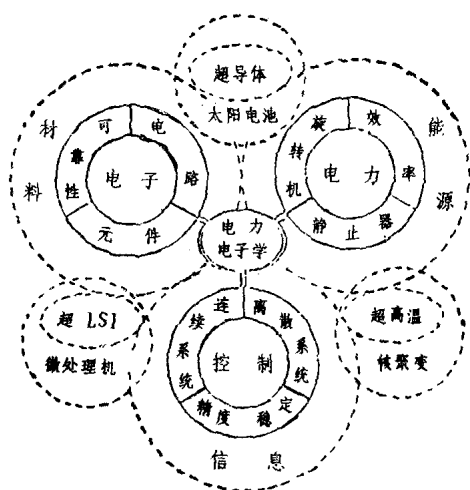


图1-2 电力电子学的支持系统
(LSI—大规模集成电路)

80年代开始，由于超电导（储能技术）、超大规模集成电路（计算技术）、超高压（核聚变技术）的进展，对电力电子学构成了有力的支持系统（图1-2），相信不久的将来，电力电子学将更会深广和迅猛地发展。

电力电子学在电动机调速特别是交流调速领域，是极其重要的内容。随着电力电子新元件（可关断可控硅、大功率晶体管等）的不断开发和应用，使调速应用项目从简单的可控硅不可逆直流调速，发展为可控硅交流变频调速，以至应用新元件 GTO、GTR 的高精度变频调速，使最初仅由可控硅元件扮演的单整流角色，发展为多种灵活变换形式，如交直交逆变器、交交变频器、定频交流电源（CVCf、UPS）……；还可变换频率、相数（单相至三相、三相至六相等）、电源（交流或直流）等。

电力电子学定名前后近一个世纪发展的历史进程可概述如表1-1。

表1-1 电力电子学发展史

年代	元 件	电 路	系 统
1900年	直流电动机 感应电动机		
	真空管 水银整流器 交磁放大机 磁放大器 晶体管(1947年)	整流电路 交-交变频器 谐振式逆变器	闸流管移相控制
1950年	面接合型晶体管 FET、SIT 硅整流器 SCR (1957年)	琼斯 (JONES) 电路	模拟控制 (PID)
1960年	光控SCR GTO IC	强迫关断SCR的 墨克马莱电路 PWM逆变器 VVVF逆变器 多相斩波器	SCR 直流拖动 (四象限) 异步机VVVF控制 SCR电动机 SCR电车 SCR直流输电 UPS不停电电源
1970年	LSI 微处理机(1971年) GATT 大功率晶体管 GTR 逆导SCR 动力FET, SIT 大功率GTO (600A/2500V)	PWM整流器 有源滤波器	数字控制(最佳系统) 矢量控制 AC步进马达控制 无功功率自动调节
1980年	逆变器模块(组件) BIMOS 大功率GTO (2500A/4500V)		电流型逆变器的四象限运行
1990年	砷化镓约瑟夫逊器件		

80年代中, 由于大功率半导体新器件的不断出现, 加之微机和现代控制理论的广泛应用, 使交流变频调速进入了新阶段。例如, 应用矢量控制法, 可使异步机变频调速在控制精度和快速响应方面与直流调速相媲美。在90年代的初期, 为了掌握日新月异的调速系统, 除了原已熟知的电动机特性、SCR相位控制和传统控制理论外, 还应及时了解、补充一系列有关的新知识, 如电机控制理论(坐标变换、矢量控制等); 微机控制(软件设计、接口电路、微处理机应用—单片机和单板机等); 现代控制理论(状态观测器、自适应、自学习控制……)等。

综上所述, 电力电子变频调速系统所需的知识领域, 可用框图1-3表示。

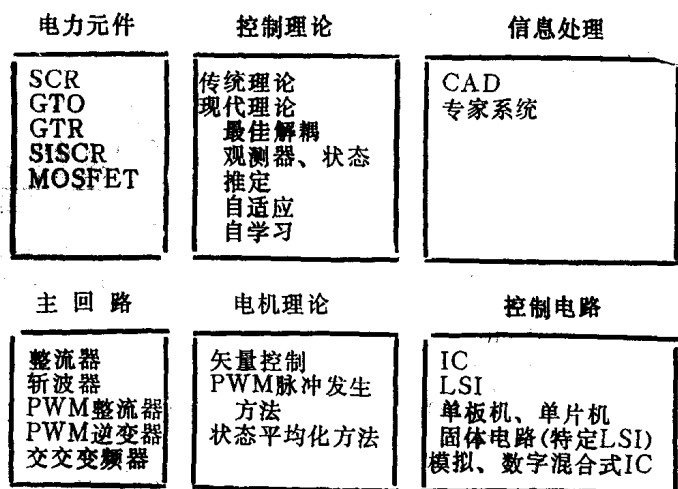


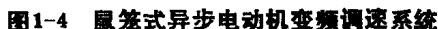
图1-3 电力电子变频调速系统的知识领域

§1-2 鼠笼式异步机变频调速的分类

鼠笼式异步电动机在工业电力拖动中使用最广泛，据国内有关资料统计，中小型鼠笼式异步机的容量，约占总拖动容量的85%以上。因此，研究鼠笼式异步机的调速，为节省能源和设备技术改造投资，促进生产过程自动化等，具有十分重要的意义。

从事电力拖动专业的人们，长期来不断寻求一种简便的调速方案以实现鼠笼式异步机的调速。开始是用双向SCR进行定子调压调速，但该方案需配合高转差率的特型鼠笼机，若用于普通型鼠笼机则低速时会产生过热；而且，即使用了特殊鼠笼机，调速范围也极低（1：5以下），且能量指标差。我国在60年代初的SCR技术推广应用高潮中，曾研制鼠笼机SCR变频调速，但由于SCR的强迫换流电路需大体积的换流电容、电抗，控制电路又十分复杂而不可靠，故始终未能实用和形成系列化定型产品。有关这方面的控制原理与电路不再详述而着重探讨用新元件GTO或GTR的输出控制方式（如PAM、PWM控制）及各种控制系统。但应指出，SCR变频器对于低速大功率变频拖动系统，特别是交交变频调速仍在大量应用，GTO、GTR等新元件只在中小型鼠笼机的变频拖动中逐渐进入主导地位。在电机功率为100千瓦以下的拖动系统中，GTR优先于GTO。在要求快速换流的高转速系统中，还有采用新元件SIT代替GTO的趋势。由于SIT元件尚处于研制阶段，故目前应用尚不十分广泛。

鼠笼式异步机的变频调速系统如图1-4所示，图中若

 I_1 输入电动机电流

n 转速

系统的核心部件是变频装置。根据变频原理的不同,可分为直接变频器和间接变频器两大类。所谓直接变频是由工频交流直接变为可变频率的交流电,国外称为“循环换流器”。

表1-2为鼠笼式异步电动机三种主要变频装置的特性、优缺点、能量指标对照表。