



新世纪高职高专

电气自动化技术类课程规划教材

新世纪

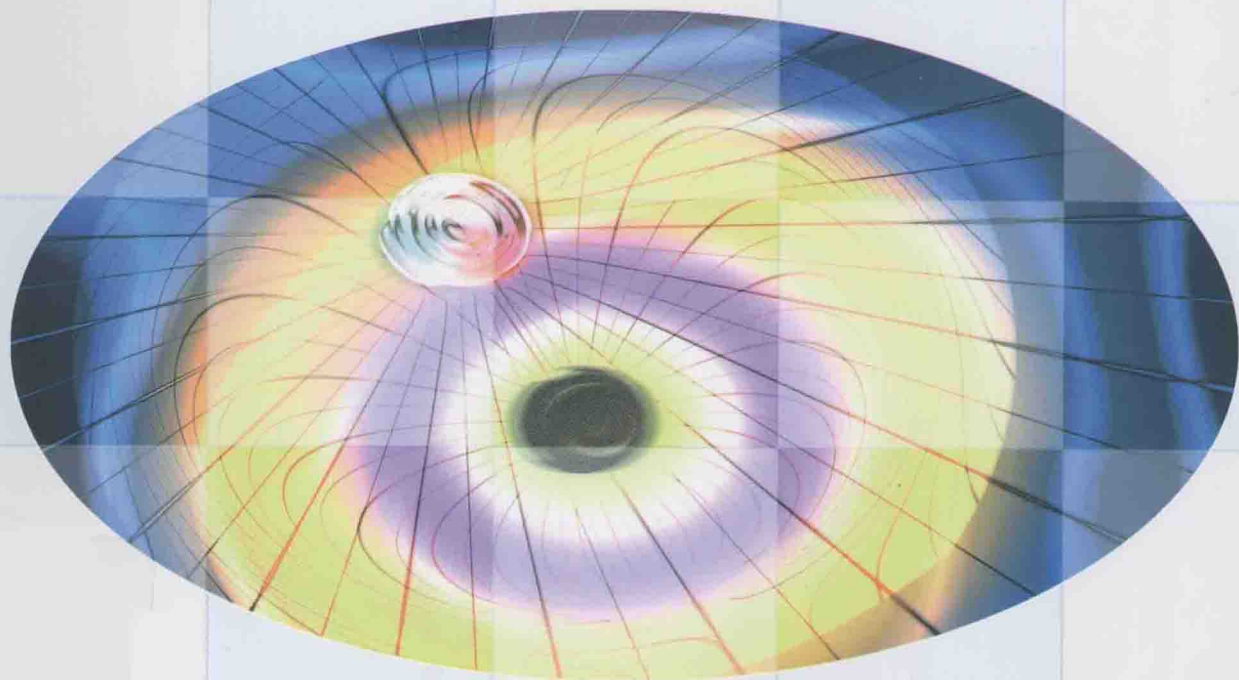
变频器原理及应用技术

BIANPINQI YUANLI JI YINGYONG JISHU

(MM440)

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主编 童克波



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



新世纪高职高专
电气自动化技术类课程规划教材

变频器原理及应用技术

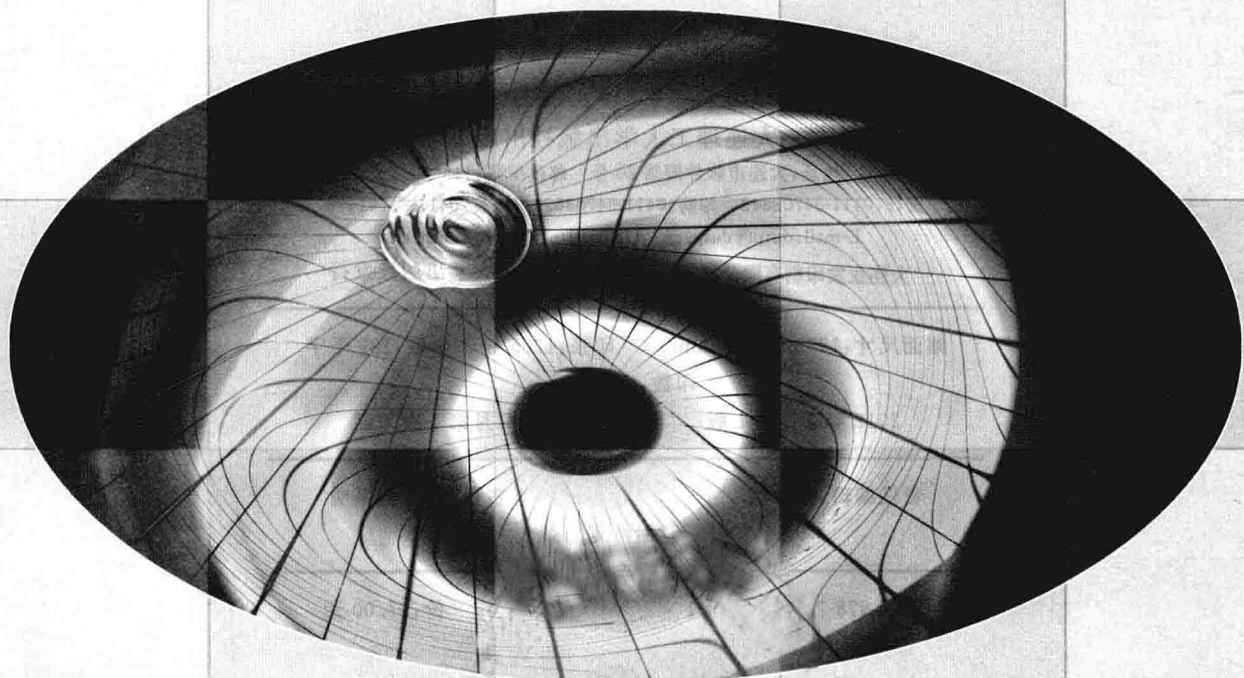
BIANPINQI YUANLI JI YINGYONG JISHU

(MM440)

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主编 童克波

副主编 傅继军 曾益保



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

变频器原理及应用技术(MM440) / 童克波主编.

— 大连 : 大连理工大学出版社, 2012.7

新世纪高职高专电气自动化技术类课程规划教材

ISBN 978-7-5611-7114-1

I. ①变… II. ①童… III. ①变频器—高等职业教育—教材 IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 166779 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连业发印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:12.5 字数:289 千字

印数:1~1500

2012 年 7 月第 1 版

2012 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑:孔泳滔

责任校对:程振明

封面设计:张莹

ISBN 978-7-5611-7114-1

定 价:27.00 元

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高职教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且唯一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

众所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否



2 变频器原理及应用技术(MM440)

会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国100余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《变频器原理及应用技术(MM440)》是新世纪高职高专教材编审委员会组编的电气自动化技术类课程规划教材之一。

本教材内容由浅入深,结构新颖。一个项目就是一个知识单元,重点突出,主题鲜明,注重高职高专学生的实际情况以及知识的完整性,保证其通用性,打破了原有教材的编写习惯,以“项目引导、任务驱动”模式编写,突出工作过程的导向流程,提出任务实施的目的和要求,在“相关知识”部分,将任务涉及的理论知识进行梳理,在“任务实施”部分将所讲知识加以应用,努力使内容脱离传统的理论教材,以“理实一体化”的模式呈现。

本教材由7个项目22个任务组成,每个任务又由任务引入、任务目标、相关知识、任务实施和知识拓展组成。项目1至项目4讲述了变频器调速的基础知识、变频器的类型、变频器的选择及变频器的使用与维护。由于西门子MM系列变频器近年来在国内获得了较好的应用,所以项目5以MM440变频器为例,通过7个任务,详细讲述了MM440变频器的各种操作方法和参数设置。项目6和项目7通过MM440变频器的实际应用,讲述了变频调速控制系统的设计和工程应用。

本教材由兰州石化职业技术学院童克波任主编,傅继军、曾益保任副主编,具体编写分工如下:项目1、项目2、项目3、项目6和项目7由童克波编写;项目4、项目5的任务1、附



4 变频器原理及应用技术(MM440)

录 A、附录 B 和附录 C 由曾益保编写;项目 5 的任务 2、任务 3、任务 4、任务 5、任务 6 和任务 7 由傅继军编写。

在编写过程中,作者参阅了国内外大量的文献资料,在此对原作者表示深深的敬意和衷心的感谢!

限于编者水平,不足之处敬请广大读者批评指正。

所有意见和建议请发往:dutpgz@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84707492 84706671

编者
2012 年 7 月



项目 1 变频器调速基础	1
任务 1 异步电动机的调速运行原理	1
思考与练习	7
任务 2 变频调速原理与控制方法	7
思考与练习	12
项目 2 变频器的基本结构及分类	13
任务 1 变频器的基本结构	13
思考与练习	19
任务 2 变频器的分类	20
思考与练习	30
项目 3 变频器的选择	31
任务 1 变频器的技术规范	31
思考与练习	36
任务 2 变频器的选择方法	36
思考与练习	41
项目 4 变频器的使用与维护	42
任务 1 变频器的安装	42
思考与练习	55
任务 2 变频器的测量	55
思考与练习	60
任务 3 变频器的调试与维护	61
思考与练习	68
任务 4 变频器的外围设备及选择	68
思考与练习	74
项目 5 MM440 变频器的基本操作	75
任务 1 MM440 变频器的外部端子	75
思考与练习	82
任务 2 变频器的面板操作与运行	83
思考与练习	96



6 变频器原理及应用技术(MM440)

任务 3 变频器的端子控制操作	96
思考与练习	102
任务 4 变频器的多段速运行操作	102
思考与练习	110
任务 5 变频器的模拟量控制运行操作	111
思考与练习	116
任务 6 变频器的 PID 控制运行操作	116
思考与练习	121
任务 7 变频与工频的切换控制	121
思考与练习	125
项目 6 变频调速控制系统的设计	126
任务 1 变频调速系统设计方法及电动机的选择	126
思考与练习	132
任务 2 根据控制对象设计变频调速控制系统	132
思考与练习	141
项目 7 变频器的工程应用	142
任务 1 MM440 变频器在料车卷扬调速系统中的应用	142
任务 2 MM440 在离心机调速系统中的应用	149
任务 3 变频器在恒压供水系统中的应用	152
附 录	161
附录 A 西门子 MM440 系列通用变频器功能参数表	161
附录 B MM440 故障信息及排除	181
附录 C MM440 报警信息及排除	186
参考文献	189

项目 01

变频器调速基础

任务 1 异步电动机的调速运行原理



01 任务引入

交流电动机分为异步电动机和同步电动机两大类,其中异步电动机结构简单、运行可靠、维护方便、价格低廉,是所有电动机中应用最广泛的一种。据统计,目前在电力拖动中90%以上采用的是异步电动机。在电力系统总负荷中,三相异步电动机占50%以上,因此,了解三相异步电动机的变频调速具有重要意义。



02 任务目标

1. 了解异步电动机的基本结构。
2. 了解异步电动机的旋转原理。
3. 了解异步电动机的机械特性及典型负载机械特性。



03 相关知识

1. 异步电动机的基本结构

异步电动机的主要结构包括以下部分:磁路部分,定、转子铁芯;电路部分,定、转子绕组;机械部分,机座、端盖、轴和轴承等。

异步电动机的定子上装有三相对称绕组,转子上也有绕组,分为两种:一种是绕线型,一种是鼠笼型。其绕组都是自成回路的“短路绕组”。

绕线型转子绕组与定子绕组一样,也是三相对称绕组。转子绕组连接成星形,即三相绕组的末端接在一起,三个始端分别接到彼此相互绝缘的三个铜制滑环上。滑环固定在转轴上,并与转轴绝缘。滑环随转轴旋转,与固定的电刷滑动接触。电刷安装在电刷架上,电

2 变频器原理及应用技术(MM440)

刷的引出线通常与外接三相变阻器连接。通过滑环、电刷将转子绕组与外接变阻器构成闭合回路,用以改善电动机的启动和调试性能。绕线型转子绕组如图 1-1 所示。

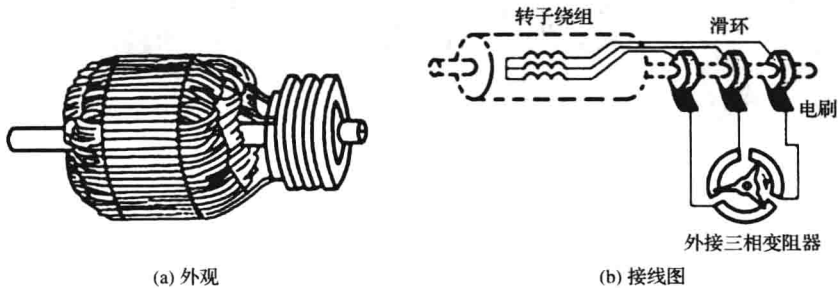


图 1-1 绕线型转子绕组

鼠笼型转子绕组由转子槽中的裸导条和连接这些裸导条的端环组成。100 kW 以上异步电动机的鼠笼型转子绕组则由插入转子槽中的铜条焊上端环构成,如图 1-2(a)所示。小型异步电动机的笼型绕组通常采用熔化的铝液在转子铁芯上一次浇铸而成,端环上铸有风扇叶片,以供电动机内部通风散热,如图 1-2(b)所示。

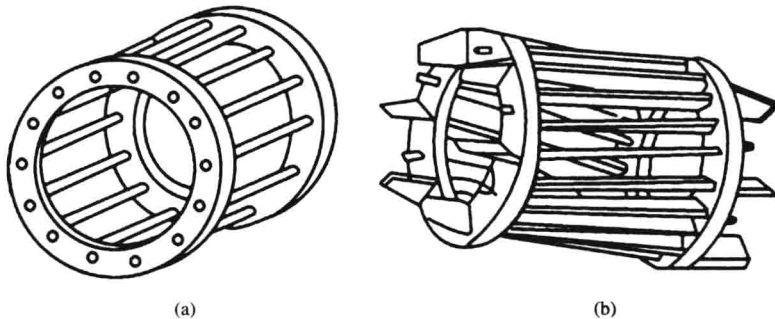


图 1-2 鼠笼型转子绕组

2. 异步电动机的工作原理

三相异步电动机的定子上装有互差 120° 的 U、V、W 三相对称绕组,当三相绕组通以 U_U 、 V_V 、 W_W 三相对称交流电压后,就产生三相互差 120° 的三相对称交流电流,其波形如图 1-3(a)所示。在 $t_1 \sim t_4$ 时刻的一个周期里,定子绕组产生的磁场旋转一周 (360°),如图 1-3(b)所示。当电源频率 $f_1 = 50$ Hz 时,流入定子绕组的三相对称电流就将在电动机的气隙内产生一个转速为 $n_1 = 60 \frac{f_1}{p}$ 的旋转磁场。当转子导体被该旋转磁场的磁力线切割时,导体内将产生感应电动势,在转子回路闭合的情况下,转子导体中就有电流流通。根据载流导体在磁场中产生电磁力的作用,用左手定则就可以判断出转子受到了一个与旋转磁场同方向的转矩。当该转矩大于转轴上的阻力矩时,转子就转动起来,这就是异步电动机的基本工作原理。

电动机转子转动的方向与旋转磁场的方向虽然相同,但它们的转速却不相等。因为如果二者相等,转子导体就不可能切割磁力线,转子电动势、电流就不存在,当然转矩也就没有了。因此,转子的转速一定小于旋转磁场的转速。如果在外力拖动作用下,转子的转速

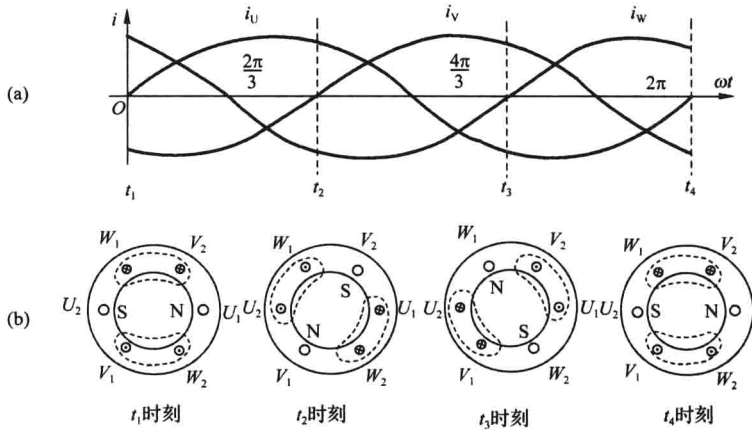


图 1-3 三相交流波形及旋转磁场

大于旋转磁场的转速,则电动机就成了发电机。如果用 n_1 表示旋转磁场转速, n 表示电动机轴实际转速, s 表示转差率,则

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

当 $s > 0$ 时,为电动机运行;当 $s < 0$ 时,为发电机运行。

3. 异步电动机的机械特性

(1) 自然机械特性

如图 1-4 所示为固定电压下异步电动机的电流曲线、自然机械特性曲线。

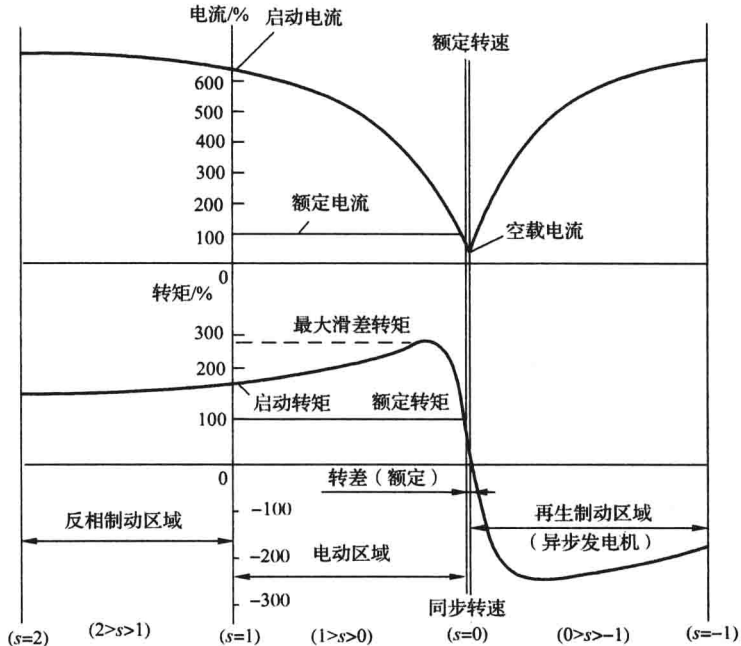


图 1-4 异步电动机的自然机械特性

4 变频器原理及应用技术(MM440)

图 1-4 中的术语说明如下:

①启动转矩 处于停止状态的异步电动机加上电压后,电动机所产生的转矩。通常为额定转矩的 1.25 倍。

②最大转矩 在理想情况下,电动机在最大转差率为 s_m 时产生的最大转矩 T_m 。

③启动电流 通常启动电流为额定电流的 4~7 倍。

④空载电流 电动机在空载时产生的电流,此时电动机的转速接近同步转速。

⑤电动状态 电动机产生转矩,使负载转动。

⑥再生制动状态 由于负载的原因使电动机实际转速超过同步转速,此时,负载的机械能量转换为电能并反馈给电源,异步电动机作为发电机运行。

⑦反接制动状态 将三相电源中的两相互交换后,旋转磁场的方向发生改变,对电动机产生制动作用,负载的机械能将转换为电能,并消耗于转子电阻上。

(2)异步电动机调速时的机械特性

异步电动机的转速 n 为

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-s) = n_1(1-s) \quad (1-2)$$

式中 n ——电动机轴转速, r/min;

f_1 ——电源频率, Hz;

s ——转差率。

p ——电动机的极对数;

n_1 ——同步转速, r/min。

当电动机空载时,转差率 s 接近于零,而当电动机满载(产生额定转矩)时,则转差率 s 一般为 1%~10%。

由式(1-2)可知,改变 f_1 、 s 和 p 中任意一个,即可改变电动机的转速。因此,异步电动机的调速最容易实现的是变极调速和改变转差率调速。只要有一个变频电源用以改变电动机的电源频率,就可实现对电动机变频调速。

变频电源除满足频率可变的条件外,还必须考虑有效利用电动机励磁抑制启动电流及获取理想转矩特性等功能。早期的通用变频器多采用恒 U/f 控制方式,即对变频器的输出电压 U 和 f 同时进行控制,故通用变频器也常被称为 VVVF 变频器(Variable Voltage Variable Frequency)。

异步电动机调速时的机械特性如图 1-5 所示。

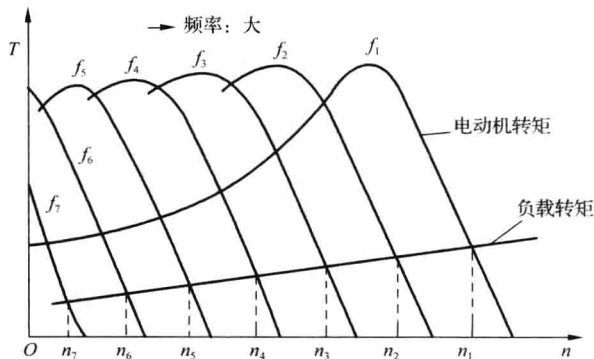


图 1-5 异步电动机调速时的机械特性

4. 异步电动机负载的机械特性

异步电动机的负载特性主要是指负载的阻转矩与速度的关系。常见的有恒转矩负载、恒功率负载和二次方律负载。

(1) 恒转矩负载

恒转矩负载的转矩特点是在不同的转速下,负载的阻转矩基本恒定,即负载阻转矩 T_L 的大小与转速 n_L 的高低无关。其机械特性曲线如图 1-6(a)所示。

恒转矩负载的功率特点表达式为

$$P_L = \frac{T_L n_L}{9\,550} \quad (1-3)$$

可见,负载功率与转速成正比,其功率曲线如图 1-6(b)所示。

带式输送机是恒转矩负载的典型实例之一,其基本机构和工作情况如图 1-6(c)所示。皮带与滚筒间的摩擦力 F 与皮带和滚筒的材质有关,与滚筒的转速无关,若滚筒半径 r 不变,则 F 、 r 两者都与滚筒的转速无关。因此,负载的阻转矩为

$$T_L = Fr \quad (1-4)$$

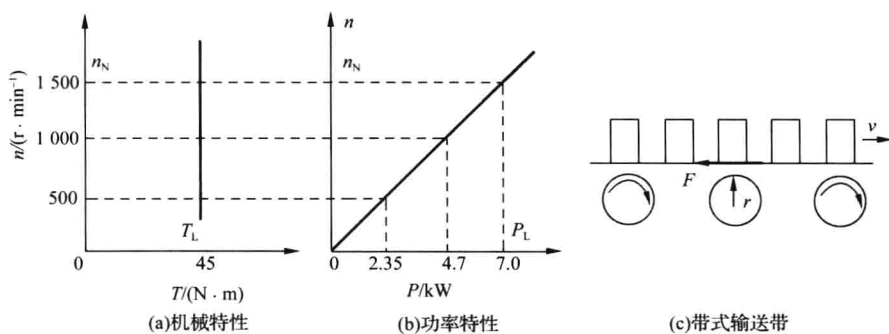


图 1-6 恒转矩负载及其特性

(2) 恒功率负载

恒功率负载的功率特点是在不同的转速下,负载的功率基本恒定,其功率曲线如图 1-7(a)所示。这里所说的“恒功率”指的是:此类负载一旦被电动机拖动运行,其负载的变化不会影响电动机的功率。例如,机床上的同一工件,若所受的切削力变大了,就要求机床主轴转动的线速度 v 降低,以保证加工质量和机床的安全,而此时电动机的输出功率不变。但它不是指无论什么负载、轻重如何,加到同一台电动机上都输出同样的功率。机床上加工不同工件时要求电动机的功率是不同的。又如卷取机械,当被卷物体的材质不同时,所要求的张力和线速度是不一样的,所要求的电动机的卷取功率的大小也就不相等。

恒功率负载的转矩计算公式为

$$T_L = \frac{9\,550 P_L}{n_L} \quad (1-5)$$

可见,负载阻转矩的大小与转速成反比,负载转矩特性如图 1-7(b)所示。

各种薄膜的卷取机械是恒功率负载的典型实例之一,如图 1-7(c)所示。其工作特点是:随着“薄膜卷”的卷径不断增大,卷取辊的转速应逐渐减小,以保证薄膜的线速度恒定。

从而也保证了张力的恒定。

从图 1-7(c)可知,负载阻转矩的大小取决于 $T_L = Fr$ (F 为卷取物的张力,在卷取过程中,要求张力保持恒定; r 为卷取物的卷取半径,随着卷取物不断地卷绕到卷取辊上, r 将越来越大。)

由于具有以上特点,因此,在卷取过程中,拖动系统的功率是恒定的,即

$$P_L = Fv \quad (1-6)$$

式中 v ——卷取物的线速度,在卷取过程中,为了使张力大小保持不变,要求线速度也保持恒定。

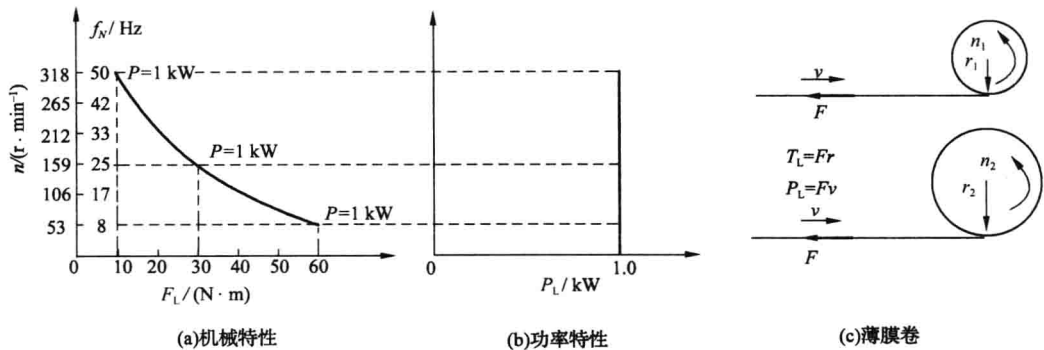


图 1-7 恒功率负载及其特性

(3) 二次方律负载

二次方律负载,如离心式风机和水泵类电动机,其负载的阻转矩 T_L 与转速 n_L 的二次方成正比,即

$$T_L = K_T n_L^2 \quad (1-7)$$

其机械特性曲线如图 1-8(a)所示。

负载的功率 P_L 与转速 n_L 的三次方成正比,即

$$P_L = \frac{T_L n_L}{9\ 550} = \frac{K_T n_L^2 n_L}{9\ 550} = K_P n_L^3 \quad (1-8)$$

式中 K_T ——二次方律负载的转矩常数;

K_P ——二次方律负载的功率常数。

其功率特性曲线如图 1-8(b)所示。

离心式风机和水泵都属于典型的二次方律负载。以风扇叶片为例,如图 1-8(c)所示,即使在空载的情况下,电动机的输出轴上也会有损耗转矩 T_0 ,如摩擦转矩等。因此,严格地讲,其转矩表达式应为

$$T_L = T_0 + K_T n_L^2 \quad (1-9)$$

其功率表达式应为

$$P_L = P_0 + K_P n_L^3 \quad (1-10)$$

式中 P_0 ——空载损耗。

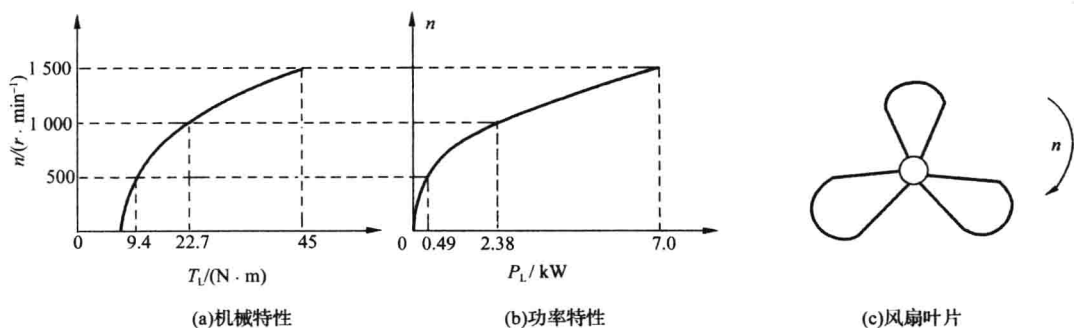


图 1-8 二次方律负载及其特性

思考与练习

1. 异步电动机变极调速、改变转差率调速和 U/f 调速各有什么特点?
2. 恒转矩、恒功率和二次方律负载,除书中所举实例外,你还能举出新的实例吗?

任务 2 变频调速原理与控制方法

01 任务引入

据统计,目前我国电动机的装备容量达 5.8 亿 kW,占全国总消费电能的 60%~70%,其中交流电动机占了 90%左右。在电力系统总负荷中,三相异步电动机占 50%以上,在各种异步电动机调速控制系统中,目前效率最高、性能最好的系统是变压变频调速控制系统,异步电动机的变压变频调速控制系统一般简称为变频器。由于通用变频器使用方便、可靠性高,所以它已成为现代自动控制系统的主要组成部件之一。

02 任务目标

1. 了解变频器的基本控制方式。
2. 掌握变频器带负载时控制方式的选择方法。
3. 掌握变频器调速时的主要技术指标。

03 相关知识

1. 变频器的基本控制方式

由电机学知识可知,定子绕组的反电动势是定子绕组切割旋转磁场磁力线的结果,本质上是定子绕组的自感电动势。三相异步电动机定子每相电动势的有效值为



$$E_1 = 4.44k_{r1}f_1N_1\Phi_M \quad (1-11)$$

式中 E_1 ——定子每相电动势的有效值, V;

k_{r1} ——与绕组结构有关的常数;

f_1 ——定子绕组感应电动势频率, 与电源频率相等;

N_1 ——定子每相绕组串联匝数;

Φ_M ——每极气隙磁通, Wb。

由式(1-11)可知, 如果定子每相电动势的有效值 E_1 不变, 改变定子频率就会出现下列两种情况:

(1) 如果 f_1 大于电动机的额定频率 f_{1N} , 那么每极气隙磁通 Φ_M 就会小于额定气隙磁通 Φ_{MN} 。其结果是: 尽管电动机的铁芯没有得到充分利用是一种浪费, 但是在机械条件允许的情况下, 长期使用不会损坏电动机。

(2) 如果 f_1 小于电动机的额定频率 f_{1N} , 那么每极气隙磁通 Φ_M 就会大于额定气隙磁通 Φ_{MN} 。其结果是: 电动机的铁芯产生过饱和, 从而导致过大的励磁电流, 严重时会使绕组过热而损坏电动机。

要实现变频调速, 在不损坏电动机的条件下充分利用电动机铁芯, 发挥电动机转矩的能力, 最好在变频时保持每极气隙磁通量 Φ_M 为额定值不变。对于直流电动机, 励磁系统是独立的, 尽管存在电枢反应, 但只要对电枢反应进行适当的补偿, 保持 Φ_M 不变是很容易做到的。在交流异步电动机中, 磁通是定子和转子磁动势合成产生的, 如何才能保持磁通基本不变呢? 有如下四种方式:

(1) 恒比例控制方式

由式(1-11)可知, 要保持 Φ_M 不变, 当频率 f_1 从额定值 f_{1N} 向下调节时, 必须同时降低 E_1 , 使 $\frac{E_1}{f_1} = \text{常数}$, 即采用电动势与频率之比恒定的控制方式。然而, 绕组中的感应电动势是难以直接控制的, 当电动势的值较高时, 可以忽略定子绕组的漏磁阻抗压降, 而认为定子相电压 $V_1 \approx E_1$, 则

$$\frac{V_1}{f_1} = \text{常数} \quad (1-12)$$

这是恒压频比的控制方式。在恒压频比条件下改变频率时, 可以证明机械特性基本上是平行下移的, 如图 1-9 所示。这和他励直流变压调速的特性相似, 所不同的是当转矩增大到最大值以后, 特性曲线就折回来了。如果电动机在不同转速下都具有额定电流, 则电动机都能在温升允许的条件下长期运行, 这时转矩基本上随磁通变化。由于在基频以下调速时磁通恒定, 所以转矩也恒定。根据电机与拖动原理, 这种调速属于恒转矩调速。低频时, V_1 和

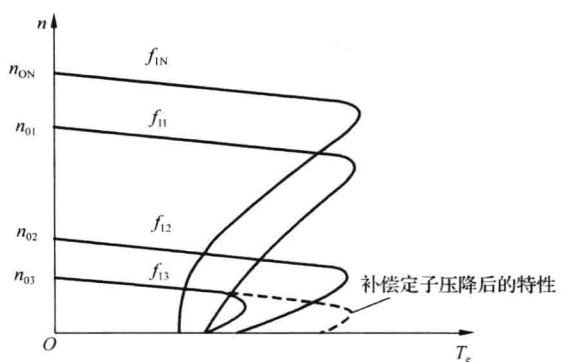


图 1-9 恒压频比调速时的机械特性