

变频器

应用与维护技术

刘美俊 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

变频器 应用与维护技术

刘美俊 编著

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第140661号

管登, 通出并编出代申國中

(北京三里河6号100044信箱) www.cepp.com.cn

編印所公類育食申鑫工

書強治計半編編各

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 25.25印张 803千字
定价: 40.00元 (含邮费)



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

突必印圖 育食對類

内 容 提 要

本书从变频器使用者的角度出发,从理论到实践、从设计到应用,由浅入深地阐述了变频调速的基础知识、变频器的类型及相关电力电子器件,重点阐述了变频器的选择方法(特别是容量的计算方法)及技巧、变频器运行控制线路的设计及运行参数的设定方法等,详细分析了通用变频器的应用与维修技巧,这些维修方法及技巧大部分是作者十多年来应用和开发变频器的工作总结,在实践中得到了有效验证,读者可以直接使用。在此基础上,本书突出介绍了变频调速控制系统的设计,变频器外围设备的选择,变频器安装调试和维修保养时的注意事项,使用变频器时可能遇到的各种异常情况及相应的对策,同时书中较详细地阐述了 MM440 变频器的主要特点及应用和维修技巧。最后,书中列举了大量不同类型变频器的实际应用方案及其控制线路的设计、参数设置方法,通过具体的成功应用实例分析了变频器的应用现状及其产生的效益,特别是其显著的节能效果;实例中给出了变频器参数的调试数据和 PLC 的程序清单,方便读者使用,以期达到举一反三的效果。

本书取材新颖、叙述清晰,既可供从事交流调速工作的工程技术人员阅读,也可供高等学校自动化、电气工程和机电一体化等专业的师生参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

变频器应用与维护技术 / 刘美俊编著. — 北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6121-5

I. 变… II. 刘… III. 变频器 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140661 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.75 印张 603 千字
印数 0001—4000 册 定价 39.80 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

前 言

随着现代电力电子技术和控制技术的发展,变频器传动已成为实现工业自动化的主要手段之一,在各种生产机械和生产线中得到了非常广泛的应用。变频器具有调速范围宽、调速精度高、动态响应快、运行效率高、功率因数高、操作方便且便于向其他设备接口等一系列优点。

变频器是运动控制系统中的功率变换器。当今的运动控制系统包含多种学科的技术领域,总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。因此,变频器作为系统的重要功率变换部件,因提供可控的高性能变压变频的交流电源而得到迅猛发展。交流电动机变频调整控制方法的进展主要体现在,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以及开发无速度传感器的矢量控制和直接转矩控制系统方面。

由于变频器技术发展快,知识含量高,技术复杂,如何正确使用好变频器,最大限度地发挥变频器的功能,以及如何维护好变频器,是广大变频器用户所关心的问题。然而仅仅知道简单的安装接线,而不了解变频器原理及其应用与维修技巧,将很难用好变频器,作者根据十多年来应用变频器的现场实践经验和从事科研与教学工作的体会,参考最新国内外技术资料编著成此书,试图为广大从事变频器应用与维护的科技工作者、工矿企业工程技术人员、高等院校电类专业师生等提供实用的技术参考。

本书介绍了变频调速的基础知识、变频器的类型及相关电力电子器件,重点阐述了变频器的选择方法(特别是容量的计算方法)及技巧、变频器运行控制线路的设计及运行参数的设定方法等,并通过大量的实例详细分析了通用变频器的应用与维修技巧,这些维修方法及技巧大部分是作者十多年来应用和开发变频器的工作总结,在实践中得到了有效验证,读者可以直接使用。在此基础上,本书突出介绍了变频调速控制系统的设计;变频器外围设备的选择,变频器安装调试和维修保养时的注意事项;使用变频器时可能遇到的各种异常情况及相应的对策。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,书中较详细地阐述了 MM440 变频器的主要特点及应用和维修技巧。最后,书中列举了大量不同类型变频器的实际应用方案及其控制线路的设计、参数设置方法,通过具体的成功应用实例分析了变频器的应用现状及其产生的效益,特别是其显著的节能效果;实例中给出了变频器参数的调试数据和 PLC 的程序清单,方便读者使用,以期达到举一反三的效果。

随着控制技术的数字化,现代交流电动机的传动控制已不再局限于单一的调速控制要求,而更多的是要求控制装置系统化、网络化,以获得更高的动态和静态性能。现代变频器不仅可以与设备网的现场总线直接连接,还可与信息网实时交换数据,与生产线控制系统及现场设备一起构成一个多级分布式控制系统。基于此,本书特别介绍了变频器与计算机、变频器与 PLC(可编程控制器)、变频器与现场总线的组网技术,重点阐述了变频器与 PROFIBUS 总线的组网方法,相信这些对读者将大有裨益。

本书在内容编排上以应用和维修为重点，考虑到读者对变频器维修的要求和知识的连贯性，对变频器的工作原理做了适度的介绍。本书具有下列主要特点：（1）密切联系工程实际，引入学科交叉内容，内容取材先进新颖，介绍了一些实用的新技术和新方法，对读者有很好的启发作用；（2）条理清楚、全面，介绍翔实，内容兼具普遍性和具体性；（3）特别注重工程应用性，编写时重点介绍了变频器的使用与维修经验，对实际应用有很好的指导作用；（4）突出实用性，内容大多取自生产一线，面向广大工程技术人员；（5）写作上力求精练，言简意赅，便于读者理解和自学。

本书在编写过程中得到了刘群、刘天任、石基、刘景俊、凌江南、李光中、黄菊生、李立、李永坚等同志的支持和帮助，编写过程中曾参考和引用了国内外许多专家、学者最新发表的论文和著作以及许多变频器生产厂家的技术资料，在此一并致谢。

限于作者水平，疏漏之处在所难免，热情欢迎广大读者批评指正。

作 者

2007 年 9 月

目 录

前言

第 1 章	变频调速基础	1
1.1	异步电动机的调速运行原理	1
1.2	变频调速的原理与控制方法	8
1.3	调速的主要技术指标	11
第 2 章	变频器的类型及电力半导体器件	14
2.1	变频器概述	14
2.2	变频器的基本结构	20
2.3	交-直-交变频器	28
2.4	交-交变频器	32
2.5	矢量控制变频器	35
2.6	直接转矩控制变频器	44
2.7	电力半导体器件	49
第 3 章	变频器的选择	83
3.1	变频器品牌及技术规范	83
3.2	变频器类型的选择	89
3.3	变频器容量的计算	90
3.4	变频器选择注意事项	100
第 4 章	变频器的运行	102
4.1	常用运行参数及设定方法	102
4.2	变频器的起动	104
4.3	变频器的制动	106
4.4	变频器的运行方式	111
4.5	节能运行	133
第 5 章	变频器的使用与维护	142
5.1	变频器的安装	142
5.2	变频器的测量	157
5.3	变频器的调试与维护	165
5.4	变频器外围设备及选择	190
5.5	变频器的干扰及抑制	203
5.6	变频器的维修	223

第 6 章 典型变频器的操作与应用	232
6.1 MM4 系列通用变频器简介	232
6.2 MM440 变频器的外形及电路原理	240
6.3 MM440 变频器的技术规范及参数	247
6.4 MM440 变频器的安装与调试	265
6.5 MM440 变频器的故障显示及维护	278
第 7 章 变频调速控制系统的设计	292
7.1 设计方法及电动机的选择	292
7.2 根据控制对象设计	301
7.3 根据负载特性设计	315
7.4 根据系统性能设计	325
7.5 变频调速网络控制系统	330
第 8 章 变频器的工程应用	347
8.1 MM440 变频器在料车卷扬调速系统中的应用	347
8.2 MM440 在离心机调速系统中的应用	353
8.3 西门子变频器网络控制系统在中厚板精整系统的应用	357
8.4 变频器在龙门铣床中的应用	360
8.5 变频器在电梯控制系统中的应用	364
8.6 变频器在恒压供水控制系统中的应用	367
8.7 变频器在纺织行业的应用	373
8.8 变频器在数控系统中的应用	377
8.9 变频器在风机控制中的节能应用	380
8.10 变频器在镀锌钢板生产线中的节能应用	383
附录	387
参考文献	404

第 1 章 >>>

变频调速基础

变频调速技术是一种通过改变交流电动机的供电频率来改变其运行速度的技术。从大范围来分,电动机分为直流电动机和交流电动机两种。由于直流电动机调速容易实现,且调速性能好,因此过去生产机械的调速多用直流电动机。但直流电动机固有的缺点是,由于采用直流电源,它的滑环和碳刷要经常拆换,费时费工,成本高,给用户带来不少的麻烦,因此人们希望让简单、可靠、价廉的笼式交流电动机也能像直流电动机那样调速。这样就出现了定子调速、变极调速、滑差调速、转子串电阻调速和串级调速等交流调速方式,由此出现了滑差电机、绕线式电机、同步式交流电机,但其调速性能都无法和直流电动机相比。直到 20 世纪 80 年代,由于电力电子技术、微电子技术和信息技术的发展,才出现了变频调速技术,它以其优异的性能逐步取代其他交流电动机调速方式,乃至直流电动机调速系统,而成为电气传动的中枢。

本章先介绍变频调速的基础知识,包括交流异步电动机的工作原理、变频调速的原理和控制方法、变频调速的机械特性等等。

1.1 异步电动机的调速运行原理

交流电动机可分为异步电动机和同步电动机两大类,其中异步电动机由于结构简单、运行可靠、维护方便、价格便宜,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的意义。

1.1.1 异步电动机的工作原理

三相异步电动机的定子上装有绕组,转子有绕线型与笼型两种,图 1-1 所示为一台三相笼型异步电动机模型。

电动机定子上装有互差 120° 的 U、V、W 三相绕组,转子为一个圆柱形的笼条。当三相绕组通以 U_U 、 U_V 、 U_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 1-2 上部所示。当在时刻“1”时 U、W 两相为正, V 相为负,磁场如图 1-2 下部所示;当在时刻“3”时 U、V 两相为正,而 W 相为负,其磁场旋转了 120° 。同理,在时刻“5”磁场又旋转 120° ,如此形成了旋转磁场。当电源频率 $f_1=50\text{Hz}$ 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 $n_0=60f_1/p$ 的旋转磁场。当转子导体被此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。当此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工作原理。

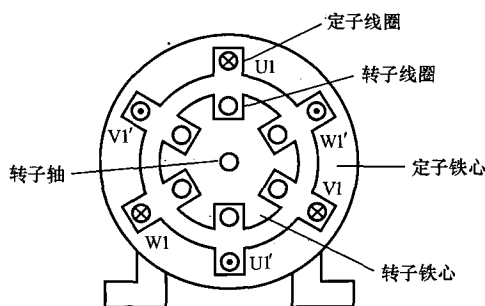


图 1-1 异步电动机模型

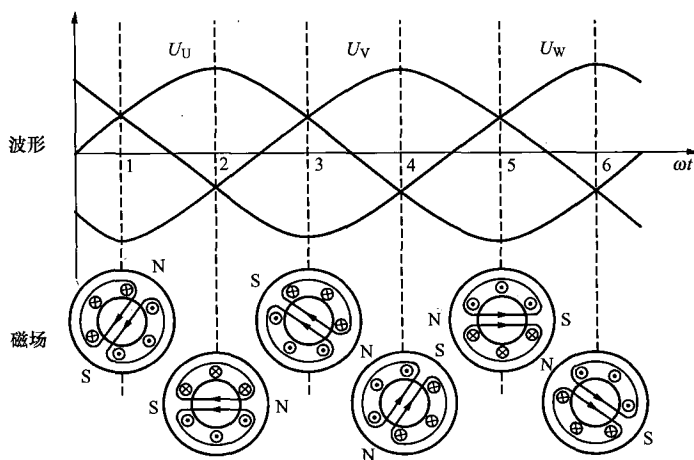


图 1-2 三相交流波形及旋转磁场

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。所以转子的转速一定小于旋转磁场的转速，这就是异步电动机名称的来源。如果在外力拖动作用下，转子的转速大于旋转磁场的转速，则电动机就成了发电机。如果用 n_0 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：

$$s = \frac{(n_0 - n)}{n_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

当 $s > 0$ 时为电动机运行；当 $s < 0$ 时为发电机运行。

1.1.2 异步电动机的基本结构

三相异步电动机由定子和转子两大部分构成，两者之间有一定大小的空气隙。其拆开后的总体结构如图 1-3 所示，下面简要介绍三相异步电动机的主要结构及部件。

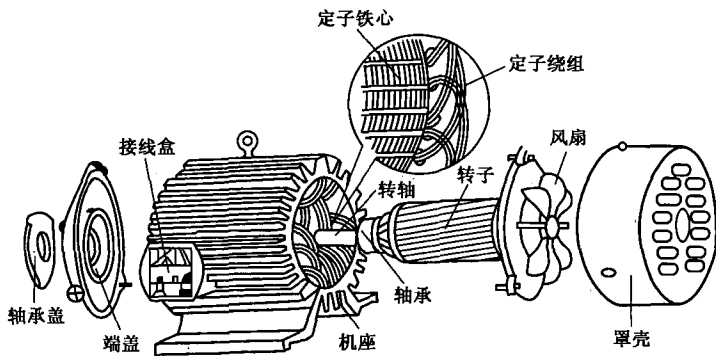


图 1-3 三相异步电动机的总体结构

1. 定子

定子是电动机的静止部分，由定子铁心、定子绕组和机座三部分组成。

定子铁心是电动机磁路的一部分，由涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成。叠片上冲有定子槽，用于嵌放定子绕组。为改善铁心的散热条件，功率较大的电动机定子铁心上开有径向通风沟。

定子绕组在作为励磁绕组建立电动机内旋转磁场的同时，还兼作电枢绕组承受负载电流。它由铝质或铜质绝缘导线绕制的线圈连接而成，嵌在定子槽内，绕组与槽壁之间必须可靠地绝缘。如定子槽中分上下两层嵌放两个线圈边，上、下层之间也必须可靠地绝缘。

机座主要用作支撑定子铁心和固定端盖。中小型异步电动机的机座采用铸铁铸成，封闭式异步电动机的机座上还铸有散热片，以增大电动机表面的散热面积。大型异步电动机的机座则用钢板焊接而成。

2. 转子

转子是电动机的旋转部分，由转子铁心、转子绕组和转轴三部分组成。

转子铁心也是电动机磁路的一部分，亦由表面涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成。叠片上冲有转子槽，用于嵌放转子绕组。小型异步电动机的转子铁心直接压装在转轴上。为改善散热条件，功率较大的电动机转子铁心上设有轴向通风孔和径向通风沟。

转子绕组是旋转磁场中建立电磁转矩的载流导体，有笼型与绕线型两种型式。笼型绕组由转子槽中的裸导条和联接这些导条的端环组成。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心上一次浇铸而成，端环上铸有风扇叶片，以供电动机内部通风散热，如图 1-4 (a) 所示。100kW 以上异步电动机的笼型绕组则由插入转子槽中的铜条焊上端环构成，如图 1-4 (b) 所示。具有笼型转子绕组的异步电动机称为笼型异步电动机。

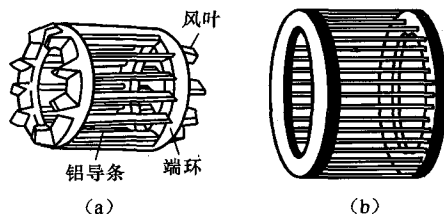


图 1-4 笼型转子绕组

(a) 铸铝转子绕组；(b) 铜条转子绕组

绕线型转子绕组的结构如图 1-5 所示，它与定子绕组一样，也是三相对称绕组。转子绕组联结成星形，即三相线组的末端接在一起，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。滑环随轴旋转，与固定的电刷滑动接触。电刷安装在电刷架上，电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，用以改善电动机的起动和调速性能。

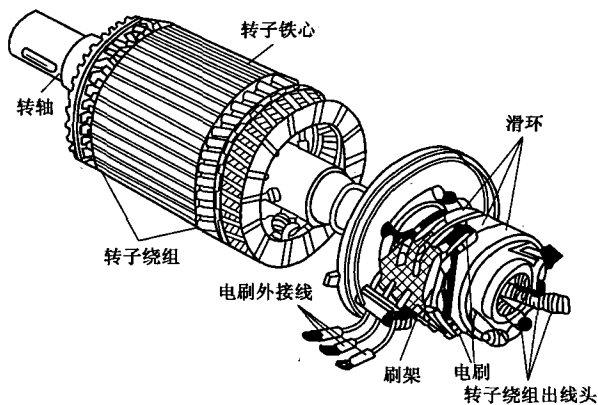


图 1-5 绕线型转子绕组

转轴的作用是支承转子铁心和传递机械功率，要求具有一定的机械强度和刚度。

三相异步电动机的铭牌数据包括：

- (1) 额定功率 P_N ，指额定运行状态下轴上输出的机械功率，单位为 kW。
- (2) 额定电压 U_N ，指额定运行状态下施加在定子绕组上的线电压，单位为 V 或 kV。
- (3) 额定电流 I_N ，指额定电压下电动机输出额定功率时定子绕组的线电流，单位为 A。

(4) 额定转速 n_N ，指电动机在额定功率、额定电压和额定频率下的转速，单位为 r/min。

- (5) 额定频率 f_N ，我国工业电网标准频率为 50Hz。

此外，绕线转子异步电动机还标有转子额定电动势和转子额定电流。前者指定子绕组加额定电压、转子绕组开路时两集电环之间的电动势，后者指定子电流为额定值时转子绕组的线电流。

1.1.3 异步电动机的机械特性

1. 自然机械特性

图 1-6 所示为固定电压下异步电动机的自然机械特性曲线。下面把特性曲线中标出的一些术语作简要说明。

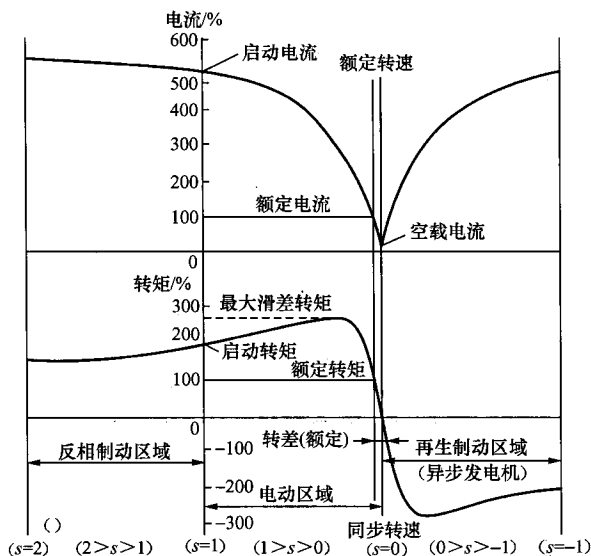


图 1-6 异步电动机的自然机械特性

(1) 起动转矩：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，起动转矩为额定转矩的 1.25 倍。

(2) 最大转矩：在理想情况下，电动机在最大转差为 s_m 时产生的最大值转矩 T_m 。

(3) 起动电流：通常，起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：

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

式中， n 为电动机转速，单位为 r/min； n_0 为同步转速，单位为 r/min； f 为电源频率，单位为 Hz； s 为转差率。

当电动机为空载时, 转差率 s 接近零, 而当电动机满负载 (产生额定转矩) 时, 则转差率 s 一般在 1%~10% 的范围内。

由式 (1-2) 可知, 改变 f 、 s 和 p 中任意一个, 即可改变电动机的转速。因此, 如果有一个变频电源, 即可改变该电源的频率来实现对异步电动机的调速控制, 如图 1-7 所示。

变频电源除满足频率可变的条件, 还必须考虑有效利用电动机励磁抑制起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, 即变频器的输出电压 U 和频率 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, 变压变频)。

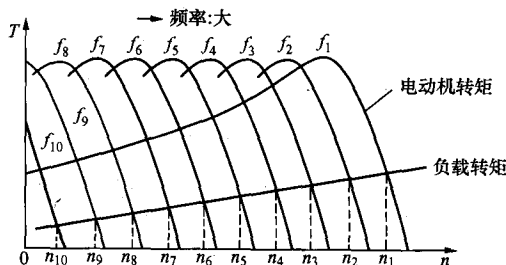


图 1-7 异步电动机调速时的机械特性

1.1.4 异步电动机负载机械特性

异步电动机负载的机械特性主要是指负载的阻转矩与转速的关系。常见的有恒转矩负载、恒功率负载和二次方率负载。其主要特点如下。

1. 恒转矩负载

恒转矩负载, 如带式输送机, 其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。所以负载的阻转矩为:

$$T_L = F \cdot r \quad (1-3)$$

近似为恒量, 也与滚筒转速大小无关, 其机械特性和功率特性如图 1-8 和图 1-9 所示。

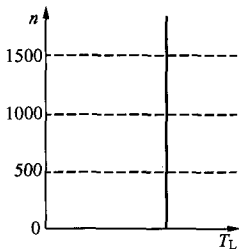


图 1-8 恒转矩负载的机械特性

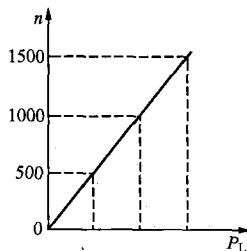


图 1-9 恒转矩负载的功率特性

需要说明的是, 这里的恒转矩是指: 一旦此类负载被电动机带动, 无论电动机的转

速高低, 转矩的大小是不变的。转速高, 电动机消耗的功率大; 转速低, 电动机消耗的功率就小。所以, 它不是指无论“怎样轻重的负载”加到电动机上, 负载的阻转矩都一样。

2. 恒功率负载

如机床主轴、轧钢机和各种薄膜的卷取机械是恒功率负载的典型例子。各种薄膜卷取机要求被卷薄膜的张力 F 一定, 其基本方法是保持滚筒的线速度 v 一定。这样, 在不同的转速下, 负载的功率 $P=Fv$ 基本恒定, 如图 1-10 所示。其机械特性表现为“转速和转矩成反比”, 如图 1-11 所示。

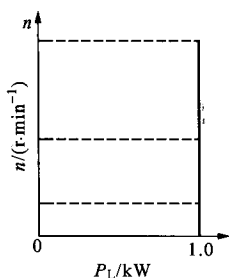


图 1-10 恒功率负载的功率特性

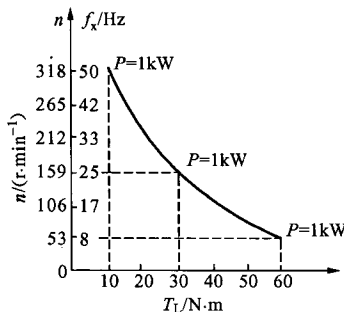


图 1-11 恒功率负载的机械特性

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。又如卷取机械而言，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。

3. 二次方率负载

二次方率负载，如离心式风机和水泵类电动机，其负载的阻转矩与转速的二次方成正比，即：

$$T_L = K_T n_L^2 \quad (1-4)$$

而负载的功率与转速的三次方成正比，即：

$$P_L = \frac{T_L n_L}{9550} = \frac{K_T n_L^2 n_L}{9550} = K_p n_L^3 \quad (1-5)$$

式中, P_L 的单位为 kW; $K_p = \frac{K_T}{9550}$, 其机械特性(转速和转矩成反比)和功率特性如图 1-12 和图 1-13 所示。

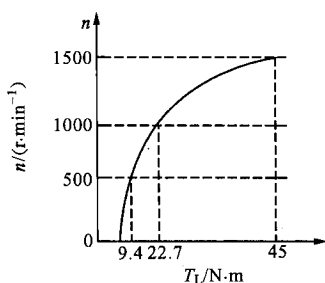


图 1-12 二次方率负载的机械特性

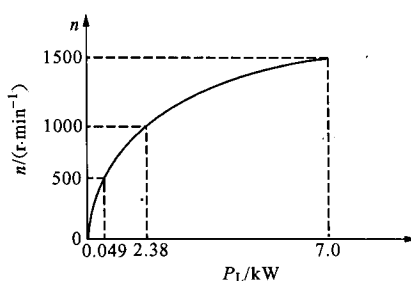


图 1-13 二次方率负载的功率特性

1.2 变频调速的原理与控制方法

在各种异步电机调速控制系统中，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，所以它成为现代自动控制系统的主要组成元件之一。

1.2.1 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。其三相异步电机定子每相电动势的有效值为：

$$E_1 = 4.44 k_{r1} f_1 N_1 \phi_M \quad (1-6)$$

式中， E_1 为气隙磁通在定子每相中感应电动势的有效值，单位为 V； f_1 为定子频率，单位为 Hz； N_1 为定子每相绕组串联匝数； k_{r1} 为与绕组结构有关的常数； ϕ_M 为每极气隙磁通量，单位为 Wb。

由式 (1-6) 可知，如果定子每相电动势的有效值 E_1 不变，改变定子频率时就会出现下面两种情况。

(1) 如果 f_1 大于电机的额定频率 f_{1N} ，那么气隙磁通量 ϕ_M 就会小于额定气隙磁通量 ϕ_{MN} 。其结果是：尽管电机的铁心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机。

(2) 如果 f_1 小于电机的额定频率 f_{1N} ，那么气隙磁通量 ϕ_M 就会大于额定气隙磁通量 ϕ_{MN} 。其结果是：电机的铁心产生过饱和，从而导致过大的励磁电流，严重时会导致绕组过热而损坏电机。

要实现变频调速，在不损坏电机的条件下充分利用电机铁心，发挥电机转矩的能力，最好在变频时保持每极磁通量 ϕ_M 为额定值不变。对于直流电机，励磁系统是独立的，尽管存在电枢反应，但只要对电枢反应作适当的补偿，保持 ϕ_M 不变是很容易做到的。在交流异步电机中，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？有如下所述四种方式。

1. 恒比例控制方式

由式(1-6)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 $E_1/f_1 = \text{常数}$,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 $V_1 \approx E_1$,则得:

$$\frac{V_1}{f_1} = \text{常数} \quad (1-7)$$

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1-14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”的性质。低频时, V_1 和 E_1 都较小,定子阻抗压降所占的分量就比较显著,不能再忽略。这时,可以人为地把电压 V_1 抬高一些,以便近似地补偿定子压降。

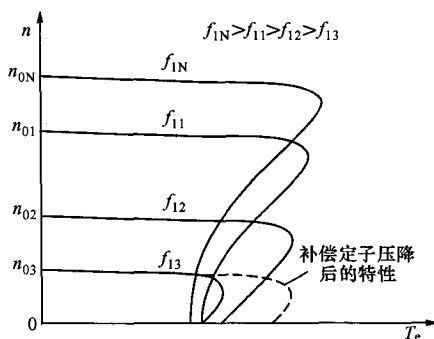


图 1-14 恒压频比调速时的机械特性

2. 恒磁通控制方式

由式(1-6)可知,要在整个调速范围内实现恒磁通控制,必须按式(1-8)来进行控制。

$$E_1/f_1 = \text{常数} \quad (1-8)$$

式(1-8)是维持恒磁通(即维持最大转矩变频调速)的协助控制条件。但是,由于电动机的感应电动势 E_1 难以测定和控制,所以实际应用中采用一种近似的恒磁通控制方法,具体做法是:当频率较高时,采用恒比例控制方式,当频率较低时,引入低频补偿,也就是通过控制环节,适当提高变频电源输出电压,以补偿低频时定子电阻上的压降,维持磁通不变,实现恒转矩控制。图1-15所示为各种补偿曲线。图1-15中,曲线①为无补偿时的 V_1 与 f_1 的关系曲线,曲线②、③、④为有补偿时的 V_1 与 f_1 的关系曲线。

3. 恒功率控制方式

当调速转速超过额定转速时,要求 $f_1 > f_{1N}$ 。若仍按恒磁通控制方式控制,则会使 V_1 超过 V_{1N} (额定电压),这是不允许出现的。这时必须改用恒功率控制方式,即当 $f_1 > f_{1N}$

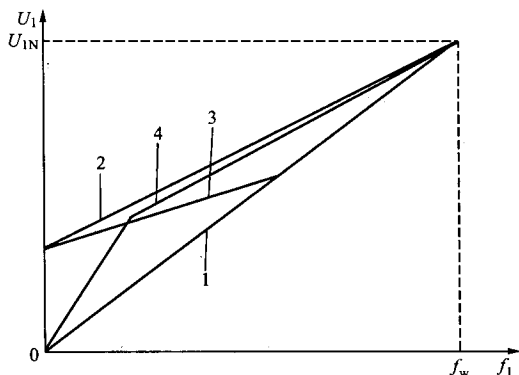


图 1-15 恒磁通变频调速时的各种补偿曲线

时, 应保持 $V_1 = V_{1N}$, 不进行电压的协调控制。随着频率的升高, 气隙磁通会小于额定磁通, 导致转矩减小, 但频率升高, 速度会增加。由 $P = Tn/975$ 可知, 当 T 减小的倍数和 n 增加的倍数相等时, P 维持不变, 故称这种方式为恒功率控制方式。不过, T 和 n 不是严格地等比例增减, 这只能说是一种近似的恒功率控制方式。

如果要准确地维持恒功率调速, 必须按下式的原则, 进行电压、频率的协调控制:

$$\frac{V_1}{\sqrt{f_1}} = \text{常数} \quad (1-9)$$

与恒比例控制方式比较, 在采用恒功率控制时, 随着 f_1 的升高, 要求 V_1 升高得相对小一些。恒功率控制方式的特点是输出功率不变, 它适用于负载随转速的升高而变轻的场合。

4. 恒电流控制方式

在变频调速时, 保持三相异步电动机定子电流 I_1 为恒值, 这种控制方式叫恒流控制。 I_1 的恒定可通过电流调节器的闭环控制来实现。这种系统不仅安全可靠, 而且具有良好的工作特性。恒流控制和恒磁通控制的机械特性形状基本相同, 均具有恒转矩调速性质。变频时, 对最大转矩大小影响不大。但由于恒流控制限制了 I_1 , 所以恒流控制时的最大转矩 T_m 要比恒磁通控制时小得多, 且过载能力小, 因此, 这种方式只适用于负载变化不大的场合。

1.2.2 控制方式的选择

为了使异步电动机变频调速时取得最好的技术和经济效果, 不同类型的负载应根据具体要求选择不同的控制方式。控制方式应满足的条件是:

- (1) 电动机的过载能力不低于额定值, 以防堵转。
- (2) 每极磁通不应超过额定值, 以免磁路饱和。
- (3) 电流不应超过额定值, 以免引起电动机过热。
- (4) 电动机的损耗最小。

(5) 充分利用电动机的容量, 尽可能使磁能保持额定值, 以充分利用铁心; 尽可能使电流保持额定值, 以充分利用绕组导线; 尽可能使功率因数保持额定值, 以免降低电动机