

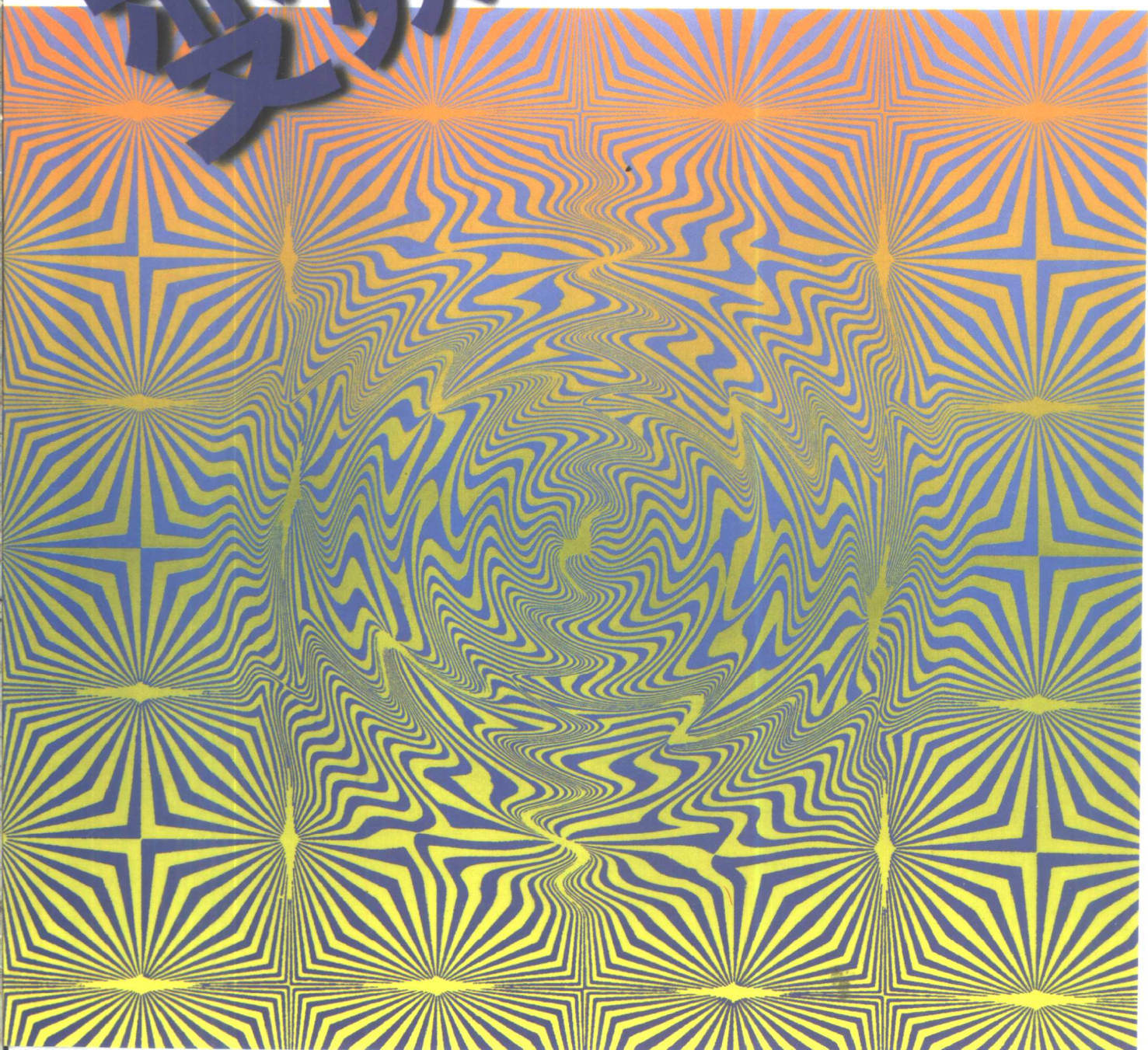


全球培训教材

三菱电机株式会社 编

变频器原理与应用教程

国防工业出版社





全球培训教材

变频器原理与应用教程

三菱电机株式会社 编

中国工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

变频器原理与应用教程/三菱电机株式会社编
—北京:国防工业出版社,1998(2000.7重印)
ISBN 7-118-01991-7

I. 变… II. 三… III. 变频器 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 24835 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 247 千字

1998 年 9 月第 1 版 2000 年 7 月北京第 3 次印刷

印数:5501—7500 册 定价:40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

随着现代功率电子技术的发展，交流电机调速用的变频器的性能日新月异，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、操作方便且便于同其他设备接口等一系列优点，使变频器的用途越来越广。由于变频器技术发展快，知识含量高、技术复杂，如何用好变频器，仅知道简单的安装接线，而不了解变频器原理及其应用技巧，将很难用好变频器。

关于变频器原理与应用的书籍为操作使用说明书者偏多，而其中大部分书籍介绍的内容系统性不强，要么是偏重原理，要么是偏重安装操作使用。三菱电机的变频器系列培训教程“变频器原理与应用教程”是一本较全面的介绍变频器的原理、安装使用方面的书籍。该书对变频器的原理、特性、容量的选择、电源、噪声、安装操作、选项配置、维修检查及其应用作了全面详细的论述。该书对快速掌握变频器应用技术，将会提供很大的帮助。该书原是三菱电机株式会社在世界上进行业务培训的内部英文教材，把此书翻译成中文，并出版发行，不仅作为三菱电机在中国的培训教材，也可为其他电气自动化专业的工程技术人员、大专院校师生，更好掌握变频器的原理与应用提供帮助。

该书除了全面介绍变频器技术之外，重点介绍变频器应用技巧，把电源（高次谐波抑制技术）和噪声（噪声滤波技术）分别单独作为一章重点介绍，对理解变频器选项配置，优化变频器系统配置提供理论指导。

由于时间仓促，加之译者水平有限，疏漏甚至谬误在所难免，敬请读者不吝指教。

三菱电机北京 FA 中心

1998 年 8 月

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了变频器技术，包括变频器的原理、特性、容量的选择、电源、噪声、安装操作使用，选项配置、维修检查及其应用等。

本书作为培训教材，对读者理解变频器技术，快速掌握变频器应用技巧，将会提供很大的帮助。

目 录

第 1 章 变频器驱动电机的特性	1
1.1 电机结构	1
1.2 基本特性	2
1.2.1 扭矩、电流与转速的特性曲线	2
1.2.2 电机转速	2
1.2.3 什么是转差率	3
1.2.4 电机电流	3
1.2.5 电机转速波动与电机负载电流	4
1.2.6 什么是电机的额定扭矩	4
1.3 变频器驱动电机的扭矩和电流特性	5
1.4 标准电机的变频器驱动操作	6
1.4.1 50Hz 与 60Hz 额定扭矩的差异	6
1.4.2 变频器操作的重点	7
1.4.3 为什么变频器输出的电压随电机转速的变化而变化	7
1.4.4 再生电机扭矩	7
1.4.5 在频率大于 50Hz 或 60Hz 区域的操作	8
1.5 变频器控制标准电机的输出特性	9
1.6 V/f 模式和扭矩提升	10
1.6.1 电机的基本等效电路	10
1.6.2 什么是扭矩提升	11
1.6.3 扭矩提升的设定	11
1.7 负载扭矩的类型与 V/f 模式	13
1.8 加减速时间和 GD^2	14
1.8.1 加减速时间	14
1.8.2 GD^2 的含义	15
第 2 章 变频器原理及加减速特性	16
2.1 变频器的构成	16
2.2 逆变器的电路原理	17
2.2.1 直流电变为交流电	17
2.2.2 改变频率	17

2.2.3	3相交流电流	18
2.2.4	逆变器电路的构成	19
2.2.5	晶体管的功能	19
2.2.6	改变AC电压的几种方法	19
2.3	整流器电路的工作原理	22
2.3.1	整流器原理	22
2.3.2	稳态时(电机运转时)AC输入电流	22
2.3.3	接通电源时AC输入电流	24
2.4	变频器控制系统及自动调整功能	25
2.4.1	V/f控制	25
2.4.2	简单磁通矢量控制	25
2.4.3	磁通矢量控制	26
2.4.4	矢量控制(闭环)	27
2.4.5	自动调整功能	29
2.5	保护功能	29
2.5.1	保护功能的目的是类型	29
2.5.2	保护功能工作过程	31
2.5.3	保护功能的级别	32
2.5.4	保护功能作用时的显示及输出信号	32
2.5.5	复位方法	33
2.5.6	再启动功能	34
2.6	变频器加速及其操作特性	34
2.6.1	启动	34
2.6.2	加速	35
2.6.3	过电流引起的失速防止	36
2.6.4	恒速操作	37
2.7	变频器减速及停止特性	38
2.7.1	减速	38
2.7.2	停止	39
2.8	变频器效率及功率因数	40
2.8.1	变频器效率	40
2.8.2	功率因数	41
2.8.3	变频器输入电流及功率因数的改善	41
第3章	电机及变频器的容量选择和操作方法	45
3.1	怎样进行容量选择	45
3.1.1	什么是变频器的容量	45
3.1.2	容量选择要点	46
3.2	根据操作模式进行选择	48
3.2.1	启动	50

3.2.2	加速	50
3.2.3	减速	50
3.2.4	电机温升	52
3.3	机械减速比的确定	53
3.4	容量选择程序	54
3.4.1	连续操作检验程序	57
3.4.2	周期操作的检验程序	59
3.4.3	提升操作检验程序	60
3.5	操作方法	64
3.5.1	操作方法的类型	64
3.5.2	操作程序概述	65
3.5.3	功能设定操作	65
3.5.4	启动/停止方法	70
3.5.5	用输入侧电磁接触器 MC 启动和停止	71
3.5.6	变频器启动滑动运转的电机	71
3.5.7	怎样使用带电磁制动的电机	72
3.5.8	频率设定信号(可选择)及输出频率	72
3.5.9	其他操作方法	75
第 4 章	变频器电源(高次谐波及瞬间失电)	78
4.1	什么是高次谐波	78
4.2	整流电路特性与高次谐波	79
4.3	高次谐波电流分支路径	80
4.4	高次谐波抑制指南	82
4.4.1	在家庭应用和一般目的产品方面的谐波抑制指南	82
4.4.2	在高压或特定高压供电耗电方面的谐波抑制指南	83
4.5	高次谐波对周围设备的影响及谐波抑制技术	83
4.5.1	消耗场合的谐波抑制技术	83
4.5.2	功率电容器	88
4.5.3	独立的电源发电机	89
4.6	瞬间失电对变频器的影响	90
4.6.1	瞬间失电时变频器的操作	90
4.6.2	瞬间失电发生时变频器周围电路及变频器操作	91
4.6.3	瞬间失电后,自动再启动控制	93
第 5 章	噪声	95
5.1	声音的产生原理	95
5.2	噪声类型及传输路径	96
5.3	噪声的衰减技术	98
5.3.1	噪声衰减技术的要点	98
5.3.2	特殊的声音衰减举例	102

5.3.3	噪声滤波器	105
5.4	泄漏电流	107
5.4.1	对地泄漏电流	107
5.4.2	线间泄漏电流	108
5.5	接地(接大地)	109
第6章	变频器的安装操作与正确使用	111
6.1	安装的环境与条件	111
6.1.1	变频器的可靠性与温度	111
6.1.2	周围温度	111
6.1.3	变频器产生的热量	112
6.1.4	配电柜的散热及通风情况	113
6.1.5	放电电阻的安装	114
6.1.6	变频器的安装方向	114
6.1.7	安装环境规格标准	115
6.1.8	污垢防护结构	116
6.1.9	在配电柜中安装变频器的注意事项	116
6.1.10	变频器驱动防爆电机	117
6.2	变频器配线	118
6.2.1	控制电路配线	118
6.2.2	端子连接图	120
6.2.3	主电路配线	121
6.2.4	I/O 电缆的配线长度	122
6.2.5	BU 制动单元配线	123
6.2.6	FR-BU 制动单元配线	123
6.2.7	高性能制动电阻(FR-ABR)的配线	124
第7章	周边设备及选项配置	125
7.1	周边设备与理解要点	125
7.2	变频器应用选项配置	126
7.3	电源容量	126
7.4	无熔丝断路器(NFB)	127
7.5	漏电断路器(ELB)	127
7.6	输入侧电磁接触器(MC)	127
7.7	浪涌抑制滤波器	128
7.7.1	措施	128
7.7.2	轮廓尺寸	129
7.8	输出侧的电磁接触器(MC)	129
7.9	热继电器(OCR)	130
7.10	主回路电缆尺寸	130
7.11	功率因数改善电抗器(FR-BAL 或 FR-BEL)	131

第 8 章 维修、检查	132
8.1 维护检查时的注意事项	132
8.2 检查项目	132
8.3 关于零件的更换	134
8.4 主回路的电压、电流和功率的测定方法	135
8.5 异常停止时参数单元的显示和检查	137
8.6 故障诊断及测试点	138
8.7 保护功能	139
第 9 章 变频器的应用	141
9.1 引言	141
9.2 节能方面	143
9.2.1 节能的原因	143
9.2.2 节能用变频器(泵、风机)	148
9.2.3 节能运行的具体应用举例	152
9.3 省力化、自动化及提高生产率	155
9.3.1 变频器在省力化、自动化及提高生产率方面的应用	156
9.3.2 在省力化、自动化以及提高生产率方面的应用	158
9.4 提高质量	159
9.4.1 机床	160
9.4.2 风机	161
9.4.3 泵	161
9.4.4 传送带	162
9.4.5 压缩机	164
9.4.6 搬运机械	164
9.5 其他方面	165
9.5.1 维护性提高	165
9.5.2 机械的标准化、简单化	166
9.5.3 电机的防爆化	166
9.5.4 高速化	166
9.5.5 电源设备容量减小	166

第 1 章 变频器驱动电机的特性

本章讨论鼠笼三相异步电动机的基本特性，以及变频器驱动时关于电机容量的选择和操作方法的论述。

重点理解交流异步电机的工频驱动与变频驱动的差异。

学习要点

1. 电机转速电流及扭矩之间的关系；
2. V/f (电压/频率比率) 模式和普通电机特性；
3. 变频器驱动电机与普通电机的差别和在工频电网供电时，对电机的扭矩、电流及温度等特性的讨论；
4. 扭矩提升的定义。

1.1 电机结构

鼠笼电机结构坚固、简单，因此被广泛用于户外、水下及防爆场所。

根据电机的外壳结构，鼠笼电机主要分为全封闭外扇式和防滴保护式两类。图 1.1 所示为全封闭外扇式电机结构图。电机的内部结构粗略地划分为固定区域和转动区域，每一区域又分为机械部分和电气部分。轴连接的风扇对电机进行风冷。

当变频器驱动的电机低速运转时，由于转速降低，风冷效果变差，为了使电机的温升控制在一定的范围内，必须要减轻负载扭矩。

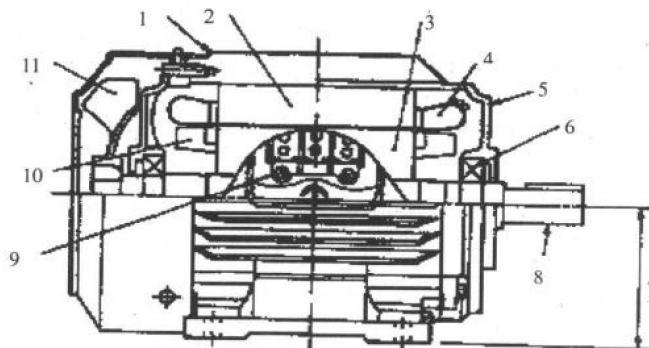


图 1.1 全封闭外扇式电机结构

- 1-机壳； 2-定子铁心； 3-转子铁心； 4-定子绕组； 5-轴承架； 6-轴承； 7-中心高；
8-轴； 9-接线盒； 10-端环风叶； 11-外扇(作为冷却)。

1.2 基本特性

1.2.1 扭矩、电流与转速的特性曲线

电机的工频电源启动特性如图 1.2 所示。

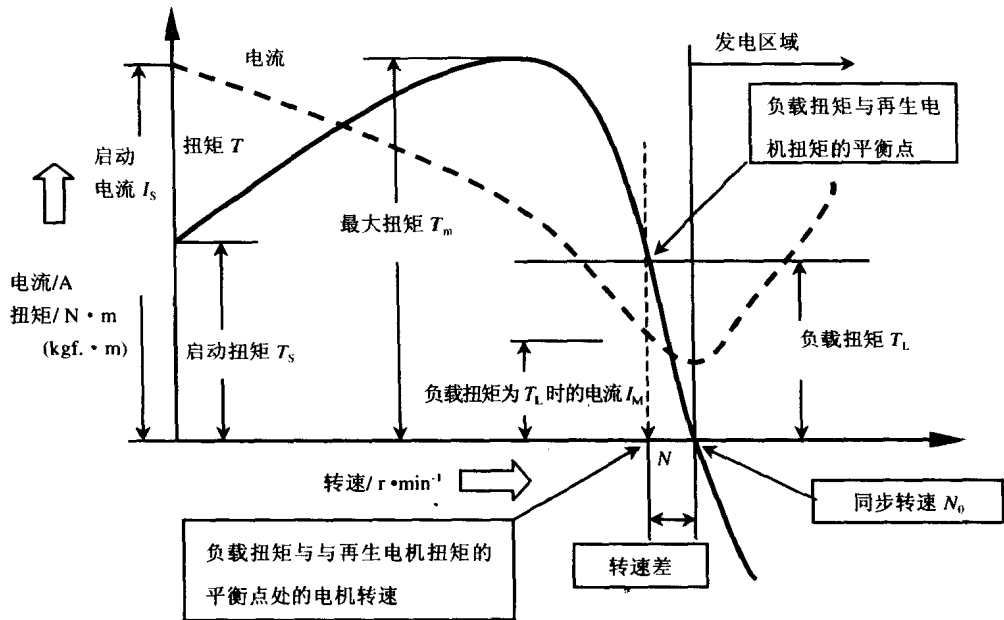


图 1.2 电机扭矩、电流与转速间的关系

1.2.2 电机转速

电机转速不仅取决于负载扭矩，而且取决于电机的极数和供电频率，如下式所示：

电机转速

$$N = \frac{120 \times \text{频率 } f}{\text{极数 } P} \cdot (1 - S) \quad [\text{r/min}] \quad (1.1)$$

↓

由电机确定

↓

由负载确定(负载扭矩)

称为同步转速 N_0

从式(1.1)得知,电机调速可以通过改变电机的供电频率、极对数、供电电压来实现。

改变频率 ----- 变频器
 改变极对数 ----- 变极电机
 改变电压 ----- PS 电机 (原电压控制)
 改变转差率 ----- 缠绕转子电机

旋转电流耦合型调速电机 (三菱 AS 电机) 的输出轴端,装有一个旋转变压器,该检测器件作为速度的反馈,使电机转速恒定,并由反馈形成的转差频率改变轴端的转速变化,该电机的调速为改变转差率的电机调速。

1.2.3 什么是转差率

在 1.2.2 中论述了带有负载的电机转速要比电机的同步转速低些,转差率表示它们的差别程度,转差率的表达式 (1.2) 如下:

$$\text{转差率} \quad S = \frac{\text{同步转速 } N_0 - \text{转速 } N}{\text{同步转速 } N_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

(1) 启动时 (零速率),转差率为 100% (通常表示转差率为 1),当变频器驱动使频率逐次增加 (常称作频率启动),转差率表示为百分值。

(2) 电机在额定扭矩运行时,转差率一般为 3%~5%,如加大负载扭矩 (过载),转差率和电机电流也随之增加。

(3) 当转速大于同步转速时 ($N > N_0$),转差率为负值。

使用电机要点

电机输出扭矩不是固定不变的。如果增大电机容量而负载变小,电机的输出扭矩还是相应减小,电机的输出扭矩总是跟随着负载扭矩变化,电机转速也是随负载变化而变化。

1.2.4 电机电流

从图 1.2 得知,低转速时,电流较大 (转差率也较大)。对于小容量电机,转差率为 0 时,电流或空载电流一般为额定电流的 50%,在负扭矩 (再生制动) 区,再生电流同转差率的绝对值成正比。

1.2.5 电机转速波动与电机负载电流

负载扭矩 T_L 与电机输出扭矩的关系决定了电机的转速。

1. 当负载扭矩变化（电机扭矩恒定）时

负载扭矩增加，电机转速 (N_2) 减小。负载扭矩减小，电机转速 (N_1) 增加。因此，负载扭矩越大，电机转速越小，如图 1.3 所示。

2. 当电机电压变化（负载扭矩恒定）时

电机扭矩是以电压的平方为比例变化的，当电压变化，电机转速也相应变化，电压增加，电流减少，如图 1.4 所示。

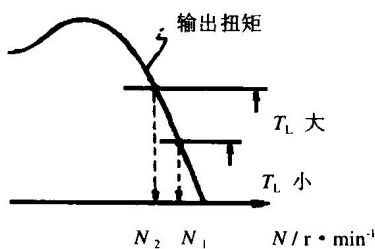


图 1.3 负载波动与转速

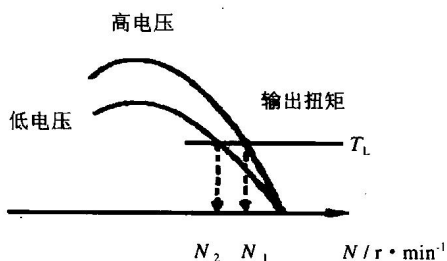


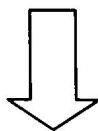
图 1.4 电压波动与转速

1.2.6 什么是电机的额定扭矩

由电机产生的力常称为扭矩力，在直线运行情况下，力的单位表示为 {kgf} 或 {N}，然而电机轴所产生的力为旋转力，旋转力即扭矩，其单位表示为 {kgf · m} 或 {N · m}。

电机额定扭矩的值，可以由公式 (1.3) 或公式 (1.4) 计算出。

额定扭矩	$T_M = 974 \times \frac{\text{额定电机功率 } P [\text{kW}]}{\text{额定转速 } N [\text{r/min}]}$	{kgf · m}	(1.3)
额定扭矩	$T_M = 9550 \times \frac{\text{额定电机功率 } P [\text{kW}]}{\text{额定转速 } N [\text{r/min}]}$	{N · m}	(1.4)



在电机标牌或测试报告中给出

注：额定转速是额定电压、额定频率、额定扭矩时的电机的转速。

练习:

计算额定转速 1730[r/min], 功率 3.7kW, 4 极电机的额定扭矩。

$$\text{额定扭矩} \quad T_M = 974 \times \frac{3.7}{1730} = 2.08 \{ \text{kgf} \cdot \text{m} \}$$

$$\text{额定扭矩} \quad T_M = 9550 \times \frac{3.7}{1730} = 20.4 \{ \text{N} \cdot \text{m} \}$$

当使用变频器驱动电机时, 计算额定扭矩、额定转速, 可以用同步转速 N_0 替代。如果要求精确计算, 还是要用额定转速。

电机使用要点

电机的额定扭矩不是电机的输出扭矩, 而是电机在额定转速、连续运转时所允许的负载扭矩。

1.3 变频器驱动电机的扭矩和电流特性

图 1.5 给出了工频电网操作和变频器操作的电机扭矩、电流特性的比较结果。[%] 表示扭矩、电流对额定扭矩、额定电流的各自百分比 (例: 4 极电机)。

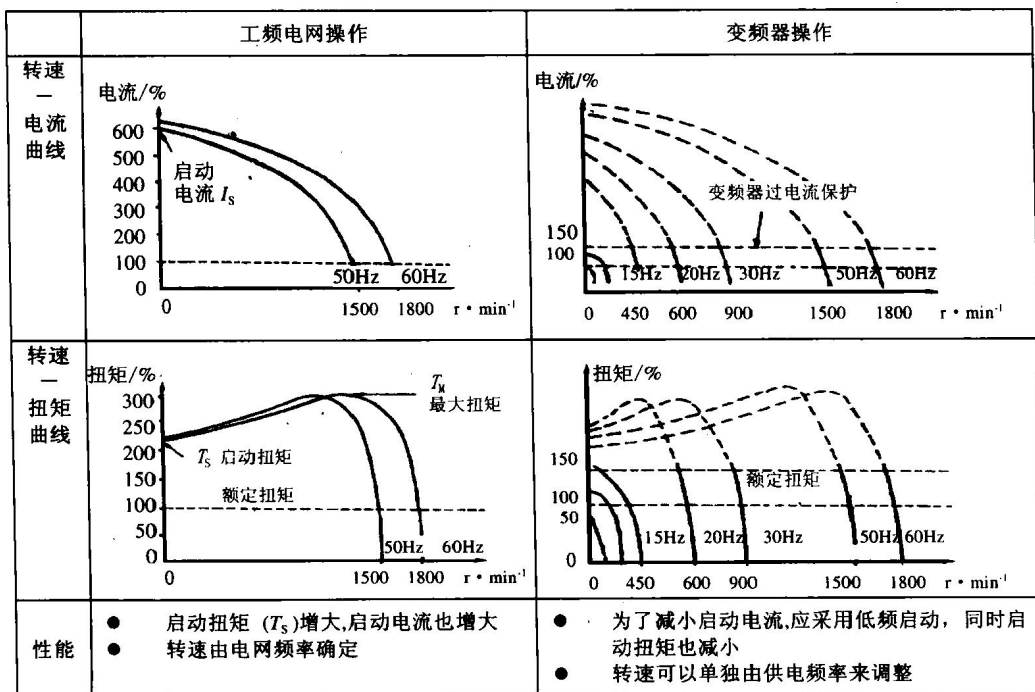


图 1.5 电机电流与扭矩特性的比较 (V/f 操作实例)

工频电网供电的标准电机操作特性近似值:

- (1) 启动电流 $I_s = 600\% \sim 700\%$ (2) 启动转矩 $T_s = 150\% \sim 250\%$
 (3) 最大扭矩 $T_M = 200\% \sim 300\%$ (4) 额定负载的转差率 $S = 3\% \sim 5\%$

1.4 标准电机的变频器驱动操作

1.4.1 50Hz 与 60Hz 额定扭矩的差异

不管标准电机应用于什么场所,均使用如下 3 种供电电网,即 200V50Hz、200V60Hz 和 220V60Hz (也可以表示为 400V50Hz、400V60Hz 和 440V60Hz),表 1.1 列出了 SF-JR3.7kW, 4 极电机在不同的工频电网供电方式下,额定电流、额定转速和额定扭矩的比较。

表 1.1 对于普通使用的 3 种标准电网的特性比较

供电电源	额定电流/A	额定转速/r · min ⁻¹	额定扭矩	
			/kgf · m	/N · m
200V50Hz	14.6	1420	2.54	24.9
200V60Hz	14.2	1710	2.11	20.7
220V60Hz	13.4	1730	2.08	20.4

假设由标准电网供电的电机额定电流为 $I_{200/50}$, $I_{200/60}$ 和 $I_{220/60}$ ($I_{400/50}$, $I_{400/60}$ 和 $I_{440/60}$), 那么将满足如下条件:

$$I_{200/50} > I_{200/60} > I_{220/60} \quad (I_{400/50} > I_{400/60} > I_{440/60})$$

从 1.2.6 中式(1.4)可见, 50Hz 电网供电和 60Hz 电网供电, 电机的额定扭矩的值是不同的。

$$\begin{aligned} \text{扭矩 (50Hz)} \quad T_0 &= 974 \times \frac{P[\text{kW}]}{N[\text{r/min}]} = 974 \times \frac{P}{1500} = 0.649 \times P \\ \text{扭矩 (60Hz)} \quad T_0 &= 974 \times \frac{P[\text{kW}]}{N[\text{r/min}]} = 974 \times \frac{P}{1800} = 0.541 \times P \end{aligned}$$

大 20%

50Hz 电网供电时, 提高了电机的扭矩(力), 而增加电机电流, 电机温升比 60Hz 电网供电的电机温升高。

