

电动机应用技术丛书

电动机控制与 维修技术

何希才 薛永毅 编著

人民邮电出版社

TM32

H36

电动机应用技术丛书

电动机控制与维修技术

何希才 薛永毅 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电动机控制与维修技术/何希才,薛永毅编著.-北京:
人民邮电出版社,1998.10

(电动机应用技术丛书)

ISBN 7-115-06768-6

I.电… II.①何… ②薛… III.①电机-控制②电机-
维修 IV.TM30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23781 号

DW45/02

电动机应用技术丛书 电动机控制与维修技术

-
- ◆ 编 著 何希才 薛永毅
责任编辑 王晓丹
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
北京朝阳隆昌印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本:850×1168 1/32
印张:12
字数:314 千字 1998 年 11 月第 1 版
印数:1-8 000 册 1998 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-06768-6/TN·1269

定价:19.00 元

电动机应用技术丛书编委会

主任委员	杨秉寿		
副主任委员	李树岭	黄立培	
委 员	杨秉寿	李树岭	黄立培
	邱阿瑞	王祥珩	朱东起
	朱建南	金启玫	王晓丹
	王晓明		

丛书前言

电动机是一种把电能转换成机械能的设备,它的用途非常广泛。在现代社会中,从火箭、卫星等高精尖技术产品到机床、汽车、农业机械等工农业生产工具乃至电吹风、电动食品加工机等家庭用具,到处都能见到电动机的踪影。目前,在我国电网的总负荷中,电动机的用电量约占 60% 左右,这也充分说明电动机在我国国民经济生产和人们日常生活中所起的作用非同一般。因此,正确合理地使用电动机对于整个国民经济有至关重要的意义。

近些年来,随着现代电力电子技术、控制技术和计算机技术的发展,电动机的应用技术也得到了进一步的发展,新产品及新应用层出不穷。除了人们已经熟悉的普通电动机外,许多不同用途的特种电动机也不断问世,如广泛用于办公设备的无刷直流电动机和高精度步进电动机、用于照相机的超声波电动机、用于心脏血液循环系统的直径只有 1.5mm 的微型电动机等等,它们的工作原理及结构与传统电动机相比都发生了很大的变化。同时,随着人们生活水平的提高,越来越多的家用电器也在不断地进入寻常百姓的家庭,像空调机、洗衣机、电冰箱、VCD 机、录像机、录音机、电风扇、抽油烟机等等,这些家用电器也都离不开电动机。另一方面,传统工业领域中的电动机在使用电力电子技术以后,控制方式变得更加灵活,效率也有更大的提高,如变频器控制的异步电动机及伺服系统即是典型的例子。正是因为如此,在社会生产力不断提高的今天,要想合理有效地使用和控制电动机,就必须对电动机的特性以及电动机控制装置的控制原理和应用技术有较详细的了解。为此,人民邮电出版社和清华大学电机工程与应用电子技术系共同组织编写了这套《电动机应用技术丛书》,以满足广大读者在电动机应用技术方面的学习需要。

《电动机应用技术丛书》重点放在介绍电动机的应用技术上,不但有传统技术的应用,也有许多新技术的应用介绍,所涉及的内容有:电动机、电动机控制、变频器应用、汽车电机应用、特殊电动机及其应用、电动机测量技术等等。

本丛书的作者都是长期从事电动机教学、科研、技术开发及应用工作的专家和科技人员,具有广博的理论和丰富的实际经验。因此,广大读者一定能够从这套丛书中获得许多有益的帮助。

为使这套丛书能够更充分地反映出电动机应用技术方面的内容,我们诚挚地希望广大读者提出宝贵的意见和建议。

内 容 提 要

本书主要讲述电动机控制与维修技术。~~内容分为三部分~~：第一，电动机控制方式，包括功率晶体管、普通晶闸管、集成电路用于直流电动机的控制方式，普通晶闸管、可关断晶闸管、双向晶闸管用于感应电动机的控制方式，无刷电动机的集成电路控制方式；第二，电动机的控制电路，包括直流电动机、无刷电动机、步进电动机的控制电路，电动机的正反转控制电路，双向晶闸管、SBS的交流电动机的控制电路；第三，交直流电动机的维修技术。

本书内容丰富，实用性强，可供电动机控制技术人员、电动机维修人员、大专院校师生及电子爱好者使用。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 电动机的负载	2
1.3 电动机的转速与转矩	4
1.4 电动机的转速控制	8
1.5 电动机的变动负载与转动惯量	11
1.6 电动机的启动与制动	13
1.7 电动机的选择	17
1.8 电动机的控制	21
第 2 章 电动机的功率晶体管控制	24
2.1 功率晶体管	24
2.2 功率变换电路	38
2.3 电动机的功率晶体管控制实例	48
2.4 电动机的单片机控制	58
第 3 章 直流电动机的晶闸管控制	64
3.1 晶闸管的特性	64
3.2 直流电动机的晶闸管控制	68
3.3 脉动电流对直流电动机的影响	70
3.4 直流电动机的控制方式	76
3.5 直流电动机的控制电路	81
3.6 保护电路	87
第 4 章 感应电动机的晶闸管控制	90
4.1 可关断晶闸管	90
4.2 感应电动机的控制原理	94

4.3 感应电动机的控制装置	98
4.4 可关断晶闸管 GTO 逆变器实例	105
4.5 晶闸管逆变器应用实例	108
4.6 矢量控制应用实例	114
第 5 章 直流电动机的集成电路控制	120
5.1 直流电动机的集成电路控制	120
5.2 电动机驱动用 IC 及其应用	129
5.3 应用实例	136
第 6 章 无刷直流电动机的集成电路控制	143
6.1 无刷直流电动机的原理	143
6.2 功率 IC	146
6.3 应用实例	149
第 7 章 感应电动机的双向晶闸管控制	152
7.1 双向晶闸管	152
7.2 固态继电器	155
7.3 感应电动机的应用实例	158
第 8 章 交流伺服电动机的控制	169
8.1 交流伺服电动机的控制	169
8.2 交流伺服电动机	174
8.3 交流伺服驱动器	175
8.4 定位控制装置	179
第 9 章 步进电动机的控制	182
9.1 步进电动机的工作原理	182
9.2 步进电动机的励磁方式	185
9.3 步进电动机的绕组驱动方式	188
9.4 步进电动机的接口	190
第 10 章 直流电动机的驱动电路	195
10.1 采用 AN6650 的桥接伺服电路	195
10.2 采用 TA7768F 的桥接伺服电路	198

10.3 采用 LA5524 的电动机控制电路	198
10.4 采用 FG 的电动机恒速控制电路	200
10.5 直流电动机的 PLL 控制	202
10.6 电动机转速的数字控制	210
第 11 章 步进电动机的驱动电路	212
11.1 采用专用集成电路的步进电动机驱动电路	212
11.2 步进电动机的微机控制电路	221
11.3 双向 PWM 恒流驱动电路	228
11.4 微步进驱动电路	231
第 12 章 无刷电动机的驱动电路	235
12.1 二相半波通电电路的无刷电动机	235
12.2 三相无刷电动机的驱动电路	239
12.3 二相无刷电动机的驱动电路	248
12.4 单相无刷电动机的驱动电路	251
12.5 无传感器的无刷电动机的驱动电路	252
第 13 章 电动机的正反转控制电路	254
13.1 晶体管构成的电动机正反转控制电路	254
13.2 采用运放构成的电动机正反转控制电路	256
13.3 伺服表头的定位控制	259
13.4 采用桥用集成块的电动机正反转控制电路	260
13.5 采用功率模块的电动机正反转控制电路	263
13.6 采用 $I^2 - FET$ 的直流电动机正反转控制电路	265
13.7 电动机正反转的微机控制电路	266
第 14 章 交流电动机的驱动电路	271
14.1 交流电源驱动直流电动机的电路	271
14.2 电动机调速电路	272
14.3 电动机的双向晶闸管控制电路	274
14.4 感应电动机的控制电路	275
第 15 章 电动机控制系统的辅助电路	283

15.1 限流电路	283
15.2 直流电动机的制动电路	285
15.3 功率晶体管的保护电路	286
15.4 电动机运行电路	286
15.5 电动机的转速检测电路	290
15.6 增大电动机驱动电流的方法	292
第 16 章 交流电动机的维修技术	295
16.1 典型故障	295
16.2 电动机的检修	315
16.3 绕组的维护	319
16.4 轴承的维护	337
第 17 章 直流电动机的维修技术	352
17.1 故障实例	352
17.2 绕组的维修	355
17.3 电刷与换向器的维护	364

第 1 章

概论

1.1 概 述

电动机在电能的生产、输送和使用等各方面起着重要的作用。生产机械大多用电动机驱动。在机械制造业、冶金工业、石油工业、化学工业等广泛应用各种电动机。在交通运输中,铁道机车和城市电车是牵引电机拖动的,在航运和航空中,使用船用电机和航空电机。在农业生产方面,电力排灌设备、打稻机、榨油机等都是由电动机拖动的。在国防、文教、科研、医疗及日常生活中,也广泛应用各种电机。随着四个现代化的发展,工业自动化程度的不断提高,各种自动控制系统中日益广泛地应用各种控制电机。就是人造卫星的自动控制系统中也离不开控制电机。

因此,从人工控制到自动控制,从单机自动化到自动线甚至到自动化工厂,从无触点控制到连续控制,甚至到计算机控制等都离不开电机控制。电机及其控制的有关知识,就成为各种专业人员所应该掌握的了。本书主要讲述电动机的各种控制方法,并提供了较多的实用电路以及电动机的维修技术。

1.2 电动机的负载

电动机有能量转换与输出控制两种功能。能量转换就是把电量转换为机械能;输出控制就是带动控制装置,即改变转速与转矩等。在很多情况下,同时需要这两种功能,但根据负载的不同,需要的情况也不一样,要求能量转换为主的称为驱动,要求输出控制为主的称为控制。电动机单机应用情况较少,多是与其它装置组成电动机控制系统,这样就能充分发挥电动机的功能。

电动机的种类繁多,可有不同的分类方法,一般可分为动力电动机与控制电动机,又可分为交流电动机与直流电动机等。

正常运行时电动机的额定输出功率要比所接负载需要的功率大10%~20%,负载有各种形式,以下提供一些典型负载需要的功率计算方法。

对于图1-1(a)所示负载需要的功率为:

$$P = 9.8 Fv / \eta \quad (\text{W}) \quad (1-1)$$

式中, $F(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)$ 为阻力, $v(\text{m/s})$ 为物体的移动速度, η 为机械效率。其中传动装置为齿轮时, η 为93%~96%,为蜗轮时, η 为85%~90%,为皮带时, η 为96%~97%。

对于图1-1(b)所示负载需要的功率为:

$$P = 9.8 Wv / \eta \quad (\text{W}) \quad (1-2)$$

式中, $W(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)$ 为荷重力, $v(\text{m/s})$ 为提升速度,效率 η 按80%计算。

对于图1-1(c)所示负载需要的功率为:

$$P = 9.8 \mu Wv / \eta \quad (\text{W}) \quad (1-3)$$

式中, $W(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)$ 为物体垂直重力, $v(\text{m/s})$ 为物体移动速度, μ 为阻力系数,效率 η 按70%~90%计算。

对于图1-1(d)所示负载需要的功率为:

$$P = \frac{9.8(W \sin \alpha + \mu W \cos \alpha) v}{\eta} \quad (\text{W}) \quad (1-4)$$

式中, $v(\text{m/s})$ 为物体移动速度, $W(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)$ 为物体垂直重力, 效率 η 按 70% ~ 90% 计算。

对于图 1-1(e) 所示负载需要的功率为:

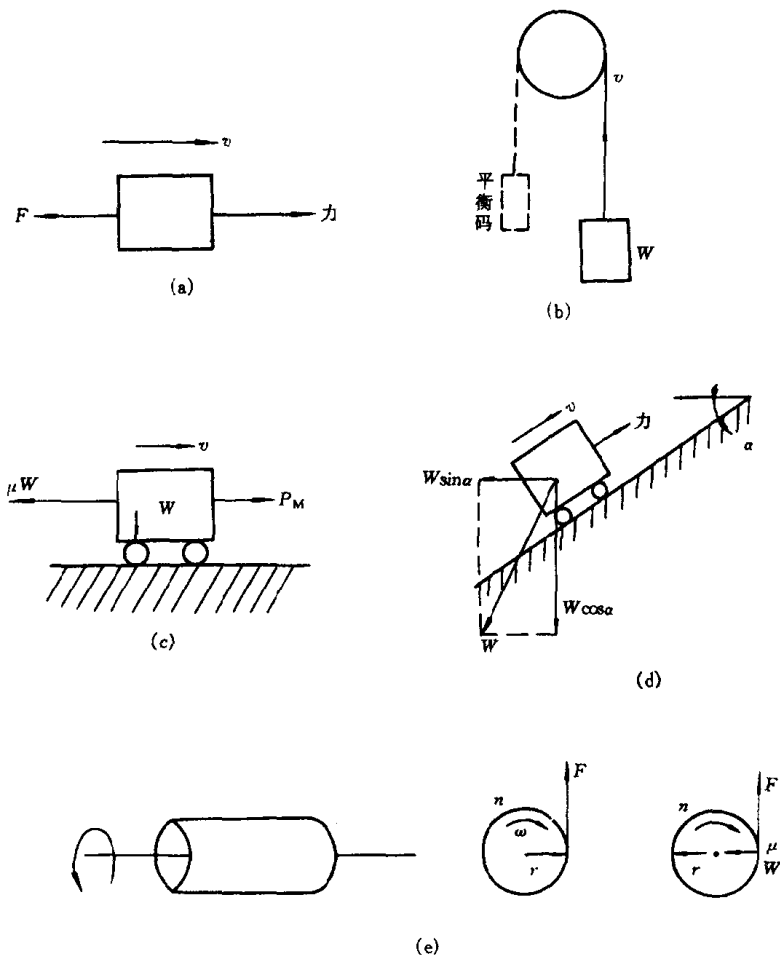


图 1-1 典型负载需要功率的计算方法

$$P = 61.6 M n / \eta \quad (\text{W}) \quad (1-5)$$

式中, $n(\text{r/min})$ 为转速, $M(\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2)$ 为转矩。

对于抽水泵需要的功率为：

$$P = 9.8 \frac{QH}{\eta} \times 10^3 \quad (\text{W}) \quad (1-6)$$

式中, $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 为抽水量, $H(\text{m})$ 为总行程, 效率 η 按 50% ~ 70 % 计算。

对于鼓风机需要的功率为：

$$P = 9.8 \frac{QH}{\eta} \quad (\text{W}) \quad (1-7)$$

式中, $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 为风量, $H(\text{mm 水柱})$ 为风压, 效率 η 按 45% ~ 55% 计算。

1.3 电动机的转速与转矩

1. 电动机转速 - 转矩特性

电动机的输出转矩通常根据负载的要求而定, 而转速又随转矩大小改变。例如, 对于感应电动机, 空载时转矩为零, 电动机以同步速度旋转, 但接入负载时, 转速随着转矩的增大而降低, 转矩随负载增大到最大值, 超过此值, 电动机就停止运行, 电动机的转速 - 转矩特性如图 1-2 所示。图中, 额定转矩是指电动机额定输出时的转矩, 额定转速是指电动机额定输出时的转速, 启动转矩是指电动机启动时的转矩, 停止转矩是指最大转矩。对于普通的感应电动机, 当负载增加超出此转矩时, 电动机就进入不稳定区域, 停

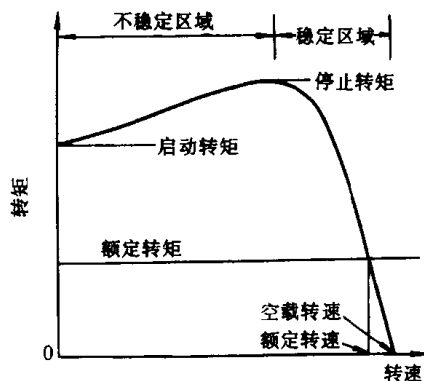
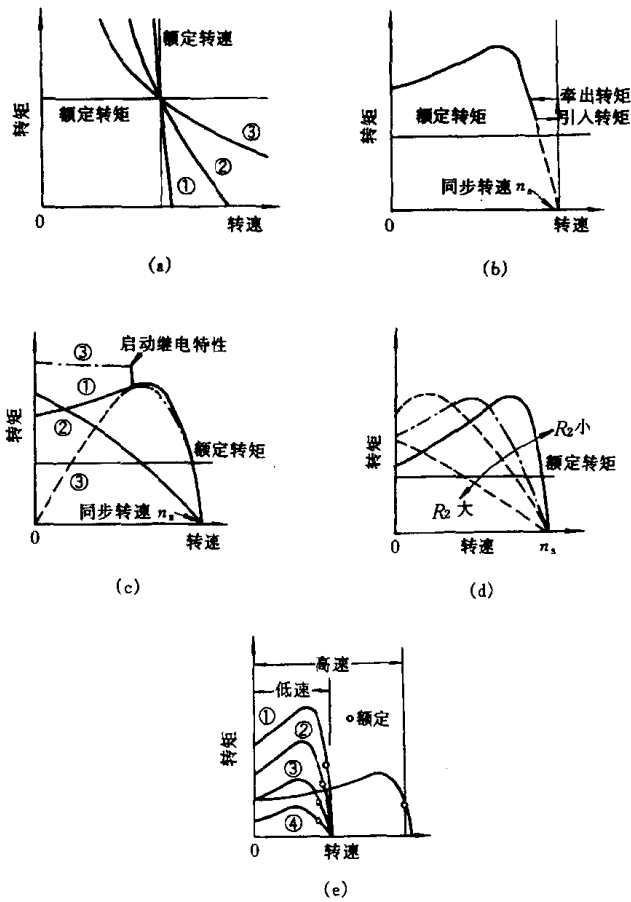


图 1-2 转速 - 转矩特性

止运行,其最大转矩就是停止转矩。空载转速是指无负载时电动机的转速。同步牵引转矩是指同步电动机启动时进入同步速度的转矩。若同步运行的同步电动机接入负载,当负载加大时,不能保持同步运行,就会脱离同步,这时的转矩称为牵出转矩。

图 1-3 示出各种电动机转速-转矩特性实例。在空载到额定



(a)直流电动机的特性;(b)同步电动机的特性;
(c)鼠笼式感应电动机的特性;
(d)绕线式感应电动机的特性;(e)换极电动机的特性

图 1-3 各种电动机的转速-转矩特性实例

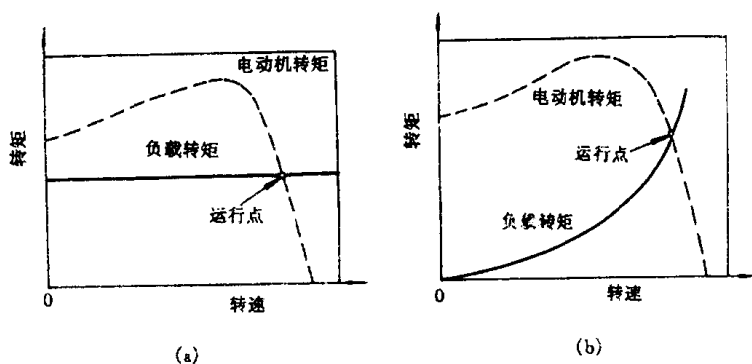
转矩之间转速变化不大,这种特性称为恒速特性(直流并励电动机,感应电动机,同步电动机等)。转速变化很大的特性称为变速特性(直流串励电动机,高阻抗感应电动机等)。

如果满载时转速为 n ,空载时转速为 n_0 ,则 $[(n_0 - n)/n] \times 100\%$ 称为速度变化率,这表示电动机转速变化的程度。速度变化率小的是恒速特性,速度变化率大的是变速特性。

在图 1-3(a)中,①为并励电动机的特性,②为直流和复励电动机的特性,③为串励电动机的特性。在图 1-3(c)中,①为三相鼠笼式感应电动机的特性,②为三相(二相)高阻抗鼠笼式感应电动机的特性,③为单相鼠笼式感应电动机的特性。在图 1-3(e)中,①为恒定输出特性用电动机,②为递减输出特性用的电动机,③为恒定转矩特性用的电动机,④为递减转矩特性用的电动机。

2. 负载的转速 - 转矩特性

驱动负载需要的转矩也随电动机转速而变化,这称为负载的转速 - 转矩特性,如图 1-4 所示。它有恒定转矩特性与递减转矩特性



(a) 恒定转矩特性; (b) 递减转矩特性

图 1-4 负载转速 - 转矩特性

两种。所谓恒定转矩特性就是电动机的转速变化,而转矩不变,例如,提升机、举重机等,特性如图 1-4(a)所示。递减转矩特性是指转矩随着转速下降而减小的负载,例如鼓风机、抽水泵等,这时转矩