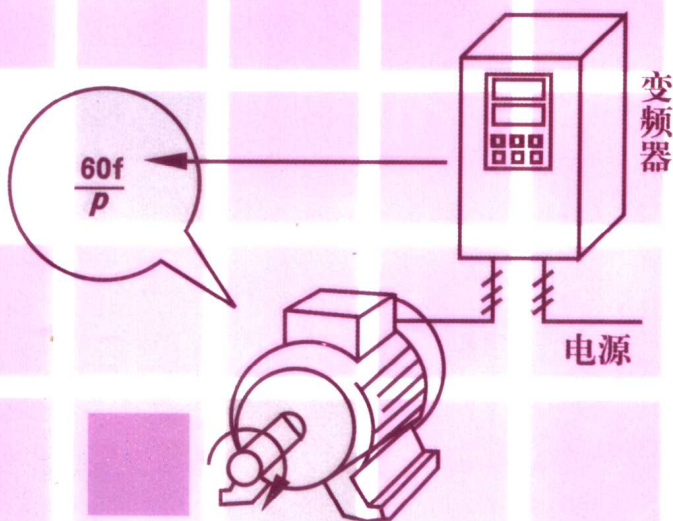


电动机变频调速

图解

张燕宾 编著
李鹤轩 审阅



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电动机变频调速图解

张燕宾 编著
李鹤轩 审阅



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以图解的方式深入浅出地介绍了以下内容：三相交流异步电动机及电力拖动的基础知识；变频器的基本原理和功能设置；变频调速系统的基本运行规律、实用电路和外围器件的选择以及设计变频调速系统的主要原则；变频调速系统在一些主要生产机械上的应用；用流程图的方式介绍了判断变频器发生故障的原因及解决方法等。

本书是一本工程教育图书，既可供变频器的调试、使用、维护的工程技术人员阅读，也可供变频器用户等作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电动机变频调速图解/张燕宾编著. —北京：中国电力出版社，2003

ISBN 7-5083-1735-1

I. 电… II. 张… III. 电动机-变频调速-图解
IV. TM34-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 073592 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>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 535 千字

印数 0001—4000 册 定价 32.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前言

在 20 世纪 80 年代,我承接过研制变频器的任务,对变频器有了一定的了解。退休之前,我又一直从事变频调速的推广应用工作,深深感受到:在工程技术人员中普及变频调速的基础知识,是一件十分有意义的工作。因此,退休以后,我的愿望便是做一个变频调速的吹鼓手。大体上说,我做了如下几方面的事情:一是出了几本关于变频调速方面的小书;二是在杂志上发表了一些介绍应用技术方面的文章;三是每年应邀主讲若干期变频调速的学习班。

因此我常常有机会和应用变频器的工程技术人员互相切磋。除了学习班的学员以外,也常常有读者打电话或写信向我咨询问题。这对我来说,其促进作用是十分明显的:一方面,有些问题看似简单,但询问者却相当普遍。这常常引发我思考:怎样才能形象而生动地把问题说得更加透彻些?另一方面,当前的科学技术发展迅猛,变频器的更新换代也很快。而我的水平本就有限,且又在不断地老化之中。为了能够帮助学员和读者们解决问题,我不得不广泛地接触新的资料,努力学习。于是,我又积累了不少新的素材。所以,当中国电力出版社的李建强同志向我约稿时,我便答应了。

在构思本书的过程中,曾受到下面一些事情的启发:

一次,我应邀到一个工厂去参观,陪同者是一位博士。我惊异地发现,他的手里居然拿着我写的《SPWM 变频调速应用技术》,便开玩笑地说:“这是通俗读物,对博士也有用么?”他的回答使我深受鼓舞:“作为一个变频器的使用者,而不是研制者,我最喜欢这样的书:一是说明问题要定性而准确,二是能具体地告诉我怎样用。我不可能因为要使用一台变频器而去思索和记忆那么多陌生的公式。”

此外,在文化大革命前,我曾经三次讲授过《电机学》。深知:异步电动机的等效电路是一个较大的难点。而要讲清楚变频调速中的各种现象,又难以回避等效电路。我于是下了一点工夫,尝试着用图解的方法来进行说明。从学习班学员们的反应来看,可以说,我取得了初步的成功。

所以,在编写本书时,我的主要着力点便是:

1. 力求深入浅出,尽量用浅显易懂的物理概念来定性地进行讲解;
2. 紧密结合实际,除了我个人的实践经验以外,更多的是和广大的学员和读者们互相切磋得到的间接经验。

令我十分荣幸的是,清华大学的李鹤轩教授对本书进行了十分认真仔细的审阅,并且给予了较高的评价。他在给我的信中说,本书“是一本优秀的工程教育的教科书,也是高等院校有关专业师生很好的参考书”。

在写作期间,中国电力出版社给我提供了不少有用的参考资料,使我受益匪浅。

借此机会,我谨向李鹤轩老师以及所有帮助过我的同志们致以深切的感谢!

本书也有一些遗憾:限于条件,我退休后很少有机会到应用变频器的工厂去作深入的考察和了解,而我又偏执于讲不透的宁愿不写。因此,本书中应用实例的涉及面偏窄,有些实

例也缺少足够的数据。

除此以外，限于本人的水平，书中不妥及谬误之处在所难免，衷心地欢迎批评指正！
热忱地欢迎广大读者经常与我切磋，共同进步！

作者

2003 年 7 月

常用符号与缩写字一览表

一、物理量的符号

B	旋转磁场的磁感应强度	I_{RN}	热继电器发热元件的额定电流
DF	位移因数, 即 $\cos\varphi$	I_M	电动机的电流
E	感应电动势的有效值或直流值 (泛指)	I_{MN}	电动机的额定电流
E_1	定子绕组的感应电动势	$I_M\%$	电流取用比
E_{01}	定子漏磁电动势	I_1	定子电流
E_2 、 E'_2	转子绕组的感应电动势及其折算值	I_2 、 I'_2	转子电流及其折算值
e	感应电动势的瞬时值 (泛指)	I_0	励磁电流
F	作用力 (包括摩擦阻力等)	I_N	变频器的额定电流
f	频率 (泛指)	I_C	晶体管的集电极电流
f_N	额定频率	I_{CM}	晶体管的集电极最大允许电流
f_X	给定频率	I_B	晶体管的基极电流
f_{OX}	输出频率	I_E	晶体管的发射极电流
f_B	基本频率	I_m	直流旋转磁场的励磁电流
f_{max}	最大频率	I_T	直流旋转磁场的转矩电流
f_{min}	最小频率	i	电流的瞬时值 (泛指)
f_{XM}	最大给定频率	i_1	定子绕组的瞬时值
f_{BI}	偏置频率	i_A	A 相电流瞬时值
f_H	上限频率	i_B	B 相电流瞬时值
f_L	下限频率	i_C	C 相电流瞬时值
f_J	回避频率	i_α	α 相电流瞬时值 (二相交流系统)
f_{JOG}	点动频率	i_β	β 相电流瞬时值 (二相交流系统)
G	重物的重力	J	转动惯量
$G\%$	频率增益	k_f	频率调节比
G_N	起重机械的额定负荷	k_U	电压调节比
GD^2	飞轮力矩	K_d	电流的畸变因数
g	重力加速度	K_P	比例增益
H	扬程 (泛指)	L_1	定子主磁通引起的自感系数
H_T	全扬程	m	物体的质量
H_A	实际扬程	m_1 、 m_2	定、转子绕组的相数
H_L	损失扬程	N_1 、 N_2	定、转子每相绕组的匝数
I	电流的有效值或直流值 (泛指)	N	磁场的北极、传输带上的正压力
I_a	电流的平均值	n	转速 (泛指)
I_{QN}	空气断路器的额定电流	n_M	电动机的转速
I_{KN}	接触器的额定电流	n_{MN}	电动机的额定转速

n_0	电动机的理想空载转速或同步转速	T_{BO}	电动机自身的制动转矩
n_K	电动机的临界转速	T_{BA}	需要附加的制动转矩
n_L 、 n'_L	负载转速及其折算值	T_L 、 T'_L	负载转矩及其折算值
n_D	机床的计算转速（分界转速）	T_J	拖动系统的动态转矩
P	有功功率（泛指），比例带，功率的瞬时值	T_0	损耗转矩
P_{BO}	制动电阻通电时消耗的电功率	t	时间（泛指）
P_{BA}	制动电阻在降速时间内消耗的平均功率	t_B	制动时间
P_B	制动电阻的实选功率	t_C	变频和工频的切换时间
P_0	损耗功率（泛指）	t_d	降速时间
P_N	变频器配用电动机的容量	t_D	自由制动时的降速时间
P_M	电动机的功率	t_{DB}	直流制动时间
P_{MN}	电动机的额定功率	t_r	升速时间
P_L	负载功率	t_{ON}	晶体管的开通时间
P_C	晶体管的耗散功率	t_{OFF}	晶体管的关断时间
PH	功率因数	t_P	启动时的暂停升速时间
p	电动机的磁极对数，压力（泛指）	t_S	升、降速时的 S 形时间
P_{Cu1} 、 P_{Cu2}	定、转子的铜损	U	电压的有效值或直流值（泛指）
P_{Fe1} 、 P_{Fe2}	定、转子的铁损	U_A	直流电动机电枢电压
Q	流量	U_{DB}	直流制动电压
Q_G	供水流量	U_1	电源的相电压
Q_U	用水流量	U_L	电源的线电压
Q_N	额定流量	U_N	变频器的额定电压
R_B	制动电阻	U_D	变频器直流电路的电压
R_L 、 R'_L	机械负载的等效电阻及其折算值	U_{DH}	变频器直流电路的允许上限电压
r	电阻（泛指）、回转半径	U_X	与 f_X 对应的变频器输出电压
r_1	定子绕组的电阻	U_{CEO}	晶体管的击穿电压（控制极无反偏）
r_2 、 r'_2	转子绕组及其折算值	U_{CEX}	晶体管的击穿电压（控制极有反偏）
r_m	励磁支路中铁损的等效电阻	u	电压的瞬时值、给定电压或信号电压
S	磁场的南极、视在功率（泛指）	v	线速度
S_N	变频器的额定容量	v_F 、 v_R	刨床的切削速度和返回速度
s	转差率（泛指）	W	电动机消耗的电能
s_N	额定转差率	X 、 X_{max}	变频器的给定信号及其最大值
s_K	临界转差率	X_T	目标信号
T	转矩（泛指）、周期（泛指）	X_F	反馈信号
T_E	有效转矩（泛指）	X_1	定子绕组的漏磁电抗
T_M	电动机的转矩	X_2 、 X'_2	转子绕组的漏磁电抗及其折算值
T_{MN}	电动机的额定转矩	X_m	励磁支路中的等效电抗
T_K	电动机的临界转矩	α_n	转速调节范围
T_S	电动机的启动转矩	α_f	频率调节范围
T_B	电动机的制动转矩	α_L	负载的调速范围
		α_G	齿轮箱的速比

β	晶体管的电流放大倍数、电动机的过载能力	θ	电动机的温升, 水的温度, 仪表的偏转角
γ	脉冲的占空比	λ	传动比
γ_B	制动电阻的容量修正系数	μ_1, μ_2	动摩擦系数和静摩擦系数
Δn	转速降落, 转差	σ	负荷率
ΔP	功率损失	τ	发热时间常数
Δp	压差	Φ	磁通量 (泛指)
$\Delta \theta$	温差	Φ_A	直流电动机电枢磁通
ϵ	自动调整后的静差	φ	功率因数角
ϵ_n	每相邻两挡的转速差	ψ	定、转子磁场轴线间的夹角
η	效率	ρ	物体的回转半径

二、缩 写 符 号

AC	交流	ON	接通
AVR	自动电压调节	OUT	输出
DC	直流	PAM	脉幅调制
IN	输入	PWM	脉宽调制
L	水位 (泛指)	SPWM	正弦脉宽调制
OFF	断开	VVVF	变压变频

三、元、器 件 符 号

AM	交流电动机	PID	比例、积分、微分调节器
AL	交流电抗器	PG	测速装置
BJT	双极晶体管	PLC	可编程序控制器
BQ	流量变换器	QF	空气开关
BV	制动单元	RP	电位器
DM	直流电动机	SA	控制开关
DL	直流电抗器	SB	按钮开关
DS	减速机构	SF	正转启动按钮开关
GTR	大功率晶体管	SR	反转启动按钮开关
HA	声响指示器	ST	停止按钮开关
HL	指示灯	SQ	限位开关
IGBT	绝缘栅双极晶体管	SP	压力传感器
IPM	智能模块	SCR	晶闸管
KA	交流继电器, 电流继电器	UF	变频器
KF	变频器内保护继电器	V	晶体管、各类开关管
KH	热继电器	VD	二极管
KM	接触器	VH	发光二极管
L	负载 (泛指)	YA	电磁铁
M	电动机 (泛指)	YB	电磁制动器
MOSFET	场效应管		

目 录

前言

常用符号与缩写字一览表

第一章 电动机及拖动系统的基础知识 1

- 第一节 直流电动机及其调速 1
- 第二节 三相交流异步电动机及其调速 2
- 第三节 异步电动机的基础分析 6
- 第四节 异步电动机的机械特性 14
- 第五节 负载的机械特性 18
- 第六节 拖动系统运行状况的分析 21
- 第七节 拖动系统的四象限运行 22
- 第八节 拖动系统的暂态过程 25
- 第九节 拖动系统的工作方式 27
- 第十节 传动装置及其在调速系统中的作用 29
- 第十一节 调速系统中应注意的问题 33

第二章 交-直-交变频器的基本原理与构成 35

- 第一节 实现变频调速的关键 35
- 第二节 变频调速的特殊问题 39
- 第三节 机械特性的改善 44
- 第四节 变频器内部的主体电路 48
- 第五节 主体电路的改进 51
- 第六节 变频器的内部控制框图 55
- 第七节 操作面板的使用 60
- 第八节 功能的预置 60
- 第九节 常用逆变模块介绍 63

第三章 变频器的功能综述 66

- 第一节 频率的给定功能 66
- 第二节 变频器中频率的名称与功能 72
- 第三节 变频器的基本控制功能 76
- 第四节 升速与启动功能 79
- 第五节 降速与制动功能 82
- 第六节 变频器的控制方式 87

第七节	变频调速的程序控制功能	95
第八节	变频器的 PID 调节功能	97
第九节	变频器的保护功能	103
第十节	某些变频器的特殊功能	107

第四章 变频器的外接主电路与配件

第一节	外接主电路与主要电器的选择	113
第二节	制动电阻及制动单元	115
第三节	变频器的功率因数及其改善	121
第四节	变频器的干扰及其防止	124
第五节	电源不符时的处理	129
第六节	变频器主电路的测量	131
第七节	变频器的安装与接线	135

第五章 变频调速系统的设计与运行

第一节	对变频调速系统的基本要求	139
第二节	普通异步电动机与变频	140
第三节	变频器及各部分电流	145
第四节	变频调速时的有效转矩线	147
第五节	V/F 控制时的电流变化规律	152
第六节	恒转矩负载的变频调速	154
第七节	恒功率负载的变频调速	157
第八节	二次方律负载的变频调速	160
第九节	变频与工频的切换	161

第六章 工厂运输机械的变频调速

第一节	概述	170
第二节	带式输送机的变频调速	171
第三节	桥式起重机的变频调速	174
第四节	起升机构的变频调速	177
第五节	大车和小车的变频调速	183
第六节	起重机械专用变频器	185
第七节	电梯的变频调速	187
第八节	电梯专用变频器	189

第七章 金属切削机床的变频调速

第一节	机床拖动系统的主要特点	193
第二节	普通车床的实例与基本数据	193
第三节	车床变频调速系统的设计举例	198
第四节	龙门刨床的构造及其主拖动系统	201

第五节	刨台往复运动的控制	203
第六节	刨台运动的变频调速	207
第七节	刀架与横梁的控制	211
第八节	龙门刨床控制电路	216
第八章	水泵、风机的变频调速	220
第一节	水泵的基本特性和节能原理	220
第二节	变频调速恒压供水系统	226
第三节	多台水泵变频调速时的切换控制	228
第四节	水位控制的变频调速系统	231
第五节	中央空调的变频调速	237
第六节	风机的变频调速	241
第九章	变频调速系统的调试与维护	246
第一节	变频调速系统的调试	246
第二节	变频器的维护	247
第三节	过电流、过载与过热	248
第四节	过电压与欠电压	252
第五节	外部故障	254
第六节	机械振动故障	255
第七节	变频器内部故障的检查	256
附录	常见变频器简介	259
附录 1	森兰 SB61 系列变频器	259
附录 2	时代 TVF2000 系列变频器	262
附录 3	康沃 CVF-G1 系列变频器	266
附录 4	惠丰 HF-G 系列变频器	270
附录 5	英威腾 INVT 系列变频器	273
附录 6	安邦信 AMB-G7 系列变频器	277
附录 7	艾默生 TD3000 系列变频器	281
附录 8	台达 VFD-B 系列变频器	285
附录 9	超能士 SMX 系列变频器	288
附录 10	安川 G7 系列变频器	291
附录 11	富士 G11S 系列变频器	297
附录 12	三菱 FR-A540 系列变频器	301
附录 13	日立 SJ300 系列变频器	304
附录 14	明电 VT230S 系列变频器	308
附录 15	东芝 VF-A7 系列变频器	311

附录 16	LG-iS5 系列变频器	315
附录 17	ABB-ACS600 系列变频器	318
附录 18	VACON-CX 系列变频器	322
附录 19	丹佛斯 VLT5000 系列变频器	325
参考文献		329

电动机及拖动系统的基础知识

长期以来,在电力拖动领域,尽管电动机的品种十分繁多,但最具典型意义的主要有两个:直流电动机和三相交流异步电动机。

第一节 直流电动机及其调速

一、基本结构

任何电动机的转矩都是由电流在磁场中受力而产生的,或者说,是两个磁场相互作用的结果。因此,所有电动机都必须具有两个基本组成部分:

- (1) 产生磁场的部分(励磁部分);
- (2) 提供电流(该电流也必产生磁场)的部分。

上述基本组成部分在直流电动机中尤其显得分明,其具体结构如下:

1. 定子

定子除了用于支撑整台电动机外,更重要的是它是主磁通的产生地。因此,其主要部件有:

- (1) 定子磁极。用于产生主磁通。
- (2) 励磁绕组。用于提供励磁电流。

当励磁绕组中通入励磁电流 I_0 时,定子磁极便产生主磁通 Φ_0 。

2. 转子

也叫电枢,用于吸取电源功率,并转换成机械能。主要部件有:

- (1) 转子铁芯。用于构成磁路。
- (2) 转子绕组。用于通入电枢电流,是输入电能的主要部件。所以,转子绕组的结构比较复杂,工艺要求也较高。

当电枢(转子)绕组中通入电枢电流时,便产生电枢磁通 Φ_A 。

3. 换向器和电刷

因为转子是旋转的,而电源是静止的,所以,要使电流流入转子绕组,必须通过换向器和电刷。换向器的另一个任务是:使处于同一磁极下的电枢绕组中电流的方向都相同,从而产生方向相同的转矩。

4. 直流电动机在结构上的薄弱环节

当转子旋转时,在电刷和换向器之间,进行着很快的相对运动。为了使电刷和换向器在做相对运动时,能始终保持良好的接触,它们之间又必须保持足够大的压力。这构成了直流电动机的一个十分严重的薄弱环节:就是电刷和换向器的磨损,以及随之而来的火花。甚至可以说,在几乎所有的电动机部件中,直流电动机的换向器是故障率最高的部件。直流电动机的构造如图 1-1 所示。

二、主要特点

1. 两个磁场互相垂直

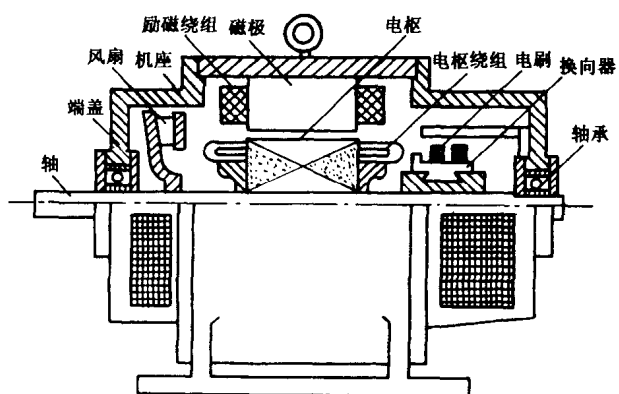


图 1-1 直流电动机的构造

两个磁场是指：

- (1) 主磁场。即定子磁极所产生的磁场，其磁通称为主磁通。
- (2) 电枢磁场。即电枢电流产生的磁场。

这两个磁场在空间是互相垂直的，如图 1-2 (a) 所示。

2. 两个电路互相独立

两个电路是指：

- (1) 产生主磁通的励磁电路。
- (2) 吸取电源功率，提供转子电流的电枢电路。

这两个电路由各自的电源供电（也可互相并联），一个电路中电流大小的变化，并不影响另一个电路，所以是互相独立的，如图 1-2 (b) 所示。

三、调速特性

直流电动机的调速特性十分优异，长期以来，被认为是所有电动机中调速特性的典范。其主要特点如下。

1. 调压调速

平滑地调节电枢电压 U_A 的大小，可以在额定转速以下实现无级调速。并且，调速后的机械特性互相平行。如加入电流反馈和速度反馈环节，则调速后的机械特性可以十分平直，如图 1-2 (c) 下半部所示。这样的调速特性，被认为是非理想的。

2. 弱磁调速

调节励磁电流 I_0 的大小（在一般情况下，励磁电流只能调小，不能调大，故称为弱磁调速），可以在额定转速以上进行无级调速。虽然，励磁电流越小，机械特性也越软，但可以作为补充的调速手段，从而拓宽了调速范围，如图 1-2 (c) 上半部所示。

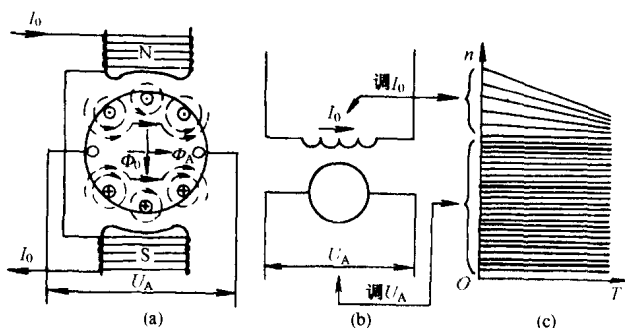


图 1-2 直流电机的特点

(a) 构造示意；(b) 基本电路；(c) 调速特性

第二节 三相交流异步电动机及其调速

一、结构特点

1. 定子绕组

定子里安放的是三相绕组。所谓三相绕组，就是三组在空间位置上互差 $\frac{2\pi}{3}$ 电角度的绕组，把它们按照一定的规律（Y形或△形）连接而成。

当把三相交变电流（其特点是在相位上也互差 $\frac{2\pi}{3}$ 电角度）通入三相绕组后，它们的合成磁场是不断地旋转着的旋转磁场。

旋转磁场的转速也叫同步转速, 用 n_0 表示, 由下式计算:

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (1-1)$$

式中 f ——电流频率;
 p ——磁极对数。

2. 转子绕组

转子绕组由两侧端部互相短接的铜条或铝条(俗称鼠笼条)构成, 和外电路之间没有任何电的联系, 因而可自成一体, 像个“鼠笼”, 如图 1-3 所示。在所有电动机中, 这种结构在简单、坚固方面是首屈一指的。这带来了使用寿命长、易于维修以及价格低廉等极为突出的优点, 使它在整个电力拖动领域, 占领了 85% 以上的阵地。

二、运行特点

转子绕组切割旋转磁场而产生感应电动势和电流, 感应电流和定子磁场相互作用, 产生电磁转矩, 使转子旋转起来, 如图 1-4 所示。

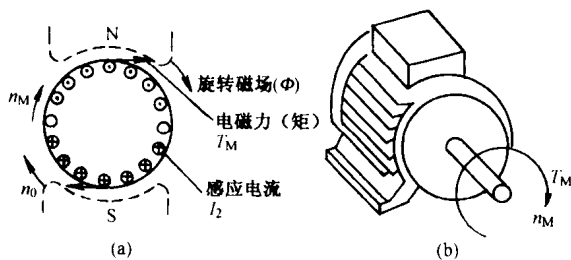


图 1-4 异步电动机的旋转原理
(a) 截面; (b) 外形

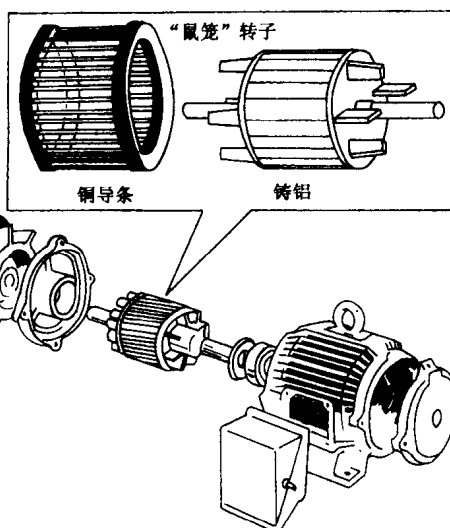


图 1-3 异步电动机的构造

实践表明, 转子的旋转速度 n_M 和同步转速 n_0 是很接近的, 但总要比磁场的转速慢一些。很明显, 要是两者的转速相等, 转子绕组便不再切割磁通, 也就没有感应电流和转矩了。所以, 电动机的转速公式是

$$n_M = n_0 (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s) \quad (1-2)$$

式中 n_M ——转子的转速, r/min;
 s ——转差率。

转差率 s 的计算公式是

$$s = \frac{n_0 - n_M}{n_0} \quad (1-3)$$

转子绕组中的感应电流也要产生旋转磁场, 但十分明显的是, 如果定子绕组中没有电流, 转子绕组中也就产生不了感应电流。所以, 转子磁场是不可能独立存在的, 也无法从外部去进行控制。并且, 转子磁场和定子磁场在空间上也并不互相垂直。

直流电动机在结构上的两个特点, 异步电动机都不具备, 这是异步电动机调速困难的根本原因。

三、调速的基本途径

式 (1-2) 表明, 除变频调速以外, 异步电动机调节转速的基本途径有:

1. 改变磁极对数 p

改变磁极对数实际上就是改变定子旋转磁场的转速。所以，磁极对数的改变是通过改变定子绕组的接法来实现的，如图 1-5 (a) 和 (b) 所示。

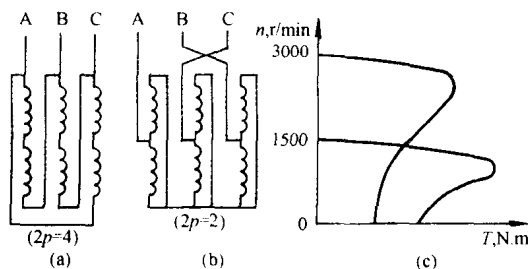


图 1-5 改变磁极对数

(a) 4 极；(b) 2 极；(c) 机械特性

如图 1-5 (c) 所示，故带负载能力也不一致。

(4) 调速时必须改变绕组接法，故控制电路比较复杂。

显然，这不是一种好的调速方法。

2. 改变转差率 s

改变转差率是通过在转子电路中串联电阻来实现的。所以，这种方法只适用于绕线式转子异步电动机，如图 1-6 (a) 所示。

这种调速方法虽然在一部分机械中得到了较为普遍的应用，但其缺点也是十分明显的，有如下几点：

(1) 因为调速电阻在外部，为了使转子电路和调速电阻之间建立电的联系，绕线式转子异步电动机在结构上加入了电刷和滑环等薄弱环节，提高了故障率。

(2) 调速电阻内将白白地消耗掉许多电能。

(3) 转速的挡位也不可能很多。

(4) 调速后的机械特性较“软”，不够理想，如图 1-6 (b) 所示。

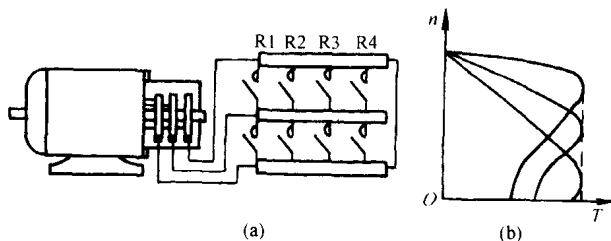


图 1-6 改变转差率的调速

(a) 电路接法；(b) 机械特性

四、实现无级调速的派生产品

如前所述，在变频调速问世之前，异步电动机在实现无级调速方面，完全处于低能的状态。因此，人们在既保持其结构简单坚固、易于维修的优点，又能实现无级调速方面，作出了许多努力，常见的派生产品有：

1. 电磁调速电动机

也叫滑差电动机，或电磁转差离合器。其基本构造如图 1-7 (a) 所示。

电磁调速电动机相当于两级异步电动机：第一级就是异步电动机 M；第二级由电枢、励磁绕组、转子等构成，转子的结构与普通异步电动机类似。

其工作原理是：电动机 M 带动电枢及励磁绕组旋转，励磁绕组由调速控制器提供直流电流。当电动机 M 带动电枢及励磁绕组旋转时，在第二级中便产生了一个“直流旋转磁

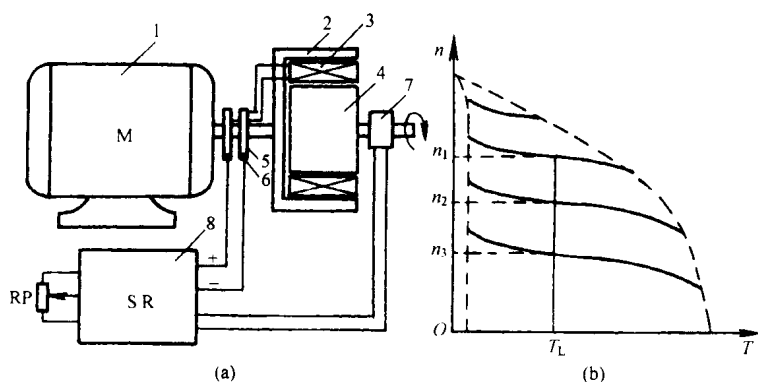


图 1-7 电磁调速电动机

(a) 基本构造; (b) 机械特性

1—异步电动机; 2—电枢; 3—励磁绕组; 4—转子;
5—滑环; 6—电刷; 7—测速装置; 8—调速控制器

场”，于是在转子绕组中产生了感应电流，并产生电磁转矩，使转子旋转。

调节调速控制器的输出电压，也就调节了电枢的励磁电流和电磁转矩，从而调节了转速。在这里，励磁电流的大小并不能如异步电动机那样随转差大小而自动调整，而只能通过转速反馈来调整励磁电流，即：当转速低于给定值时，通过转速反馈来增大励磁电流；转速高于给定值时，又通过转速反馈来减小励磁电流，从而得到如图 1-7 (b) 所示的机械特性。

由于在低速时，励磁电流的给定值较小，故励磁电流的调节范围较大，因而电磁转矩的变化范围也较大；反之，高速时，励磁电流的给定值较大，励磁电流的调节范围较小，因而电磁转矩的变化范围也较小。

电磁调速电动机较好地实现了无级调速，在纺织机械、塑料机械以及其他行业的机械中得到了广泛的应用。

但明显的是：其运行效率较低，且由于有电刷和滑环而增加了薄弱环节。此外，其机械特性的硬度较差，调速范围也较窄。

2. 力矩电动机

(1) 异步电动机的调压调速。异步电动机在调节电压时，只能改变其临界转矩，而不能改变其临界转差率，如图 1-8 (a) 所示。因此，虽然普通的异步电动机也能进行调压调速，但调节的范围很小，且电压下降后，其过载能力也将下降。

(2) 力矩电动机及其特性。力矩电动机的基本结构和普通的异步电动机相同，但转子绕组（鼠笼条）由电阻率较高的材料构成。其目的，是使机械特性的临界转速 n_k 下降，从而在调节电压时，所得到的调速范围较广，如图 1-8 (b) 所示。如果配以转速反馈，也能得到较硬的机械特性。

但十分明显，其功率损失将因为转子电阻的增大而增大，运行效率较低。

五、对变频调速的企盼

调节了频率，便调节了同步转速，也就调节了异步电动机轴上的转速，如图 1-9 所示。