

本书由浙江海洋学院出版基金资助出版

船舶电气与通信

CHUANBODIANQI YU TONGXIN

刘国平 编著



海洋出版社

船舶电气与通信

刘国平 编著

海军出版社

2004年·北京

内 容 简 介

本书共三篇,主要内容包括:船舶电机、电器及控制;船舶电站及电力网;船舶无线电通信设备。本书是针对船舶设计、船舶制造、船舶修理及船舶检验专业的学生及有关科技人员应用船舶电气与通信的需要而编写的,也可供从事轮机管理、船舶检验、船舶修造的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气与通信 / 刘国平编著. —北京:海洋出版社,
2004.8

ISBN 7-5027-6182-9

I. 船… II. 刘… III. ①船用电气设备 ②航海通信 IV. ①U665 ②U675.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085001 号

责任编辑:陈莎莎

责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:9.25

字数:160 千字 印数:1~2000 册

定价:25.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

《船舶电气与通信》一书是为船舶设计、制造、修理及检验等非电专业学生及科技人员而撰写的。书中部分章节总结了笔者几年来的科研实践。本书共分三篇,第一篇为船舶电机、电器及控制;第二篇为船舶电站及电力网;第三篇为船舶无线电通信设备。

该书的主要特点:(1)在专业技术上,力求把船舶电气控制与通信技术相结合,避免过细的专业划分。(2)强调工程技术观点,以学以致用为目的,删去了过多的理论叙述与公式推导。(3)通过典型的线路,介绍船舶的有关控制设备,力求以比较短的篇幅,获得较大的技术覆盖面。

在本书撰写过程中得到中国造船工程学会《船舶工程》编委会、中国电子学会导航分会、上海交通大学、大连海事大学、浙江扬帆船舶集团有限公司等有关专家及工程技术人员的关心支持,借此机会表示感谢。

由于时间仓促,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2004年2月

目 次

第 1 篇 船舶电机、电器及控制	(1)
第 1 章 船舶电机	(1)
1.1 交流电机	(1)
1.2 直流电机	(26)
第 2 章 船舶常用控制电器及基本控制线路	(41)
2.1 常用控制电器	(41)
2.2 基本控制线路	(47)
第 3 章 船舶辅机的自动控制	(54)
3.1 压力水柜水位控制	(54)
3.2 船用泵自动切换控制	(55)
3.3 电动锚机控制电路	(62)
3.4 船舶舵机控制系统	(65)
3.5 船舶制冷控制	(72)
第 2 篇 船舶电站及电力网	(83)
第 4 章 船舶电力系统概述	(83)
4.1 船舶电力系统的组成	(83)
4.2 船舶电力系统的特点及对其基本要求	(84)
4.3 船舶电力系统的基本参数	(85)
第 5 章 船舶发电机组	(87)
5.1 发电机的保护	(87)
5.2 自动空气断路器	(91)
5.3 逆功率继电器	(97)

5.4 同步发电机组的并车	(99)
第6章 船舶配电装置	(109)
6.1 船舶配电装置分类	(109)
6.2 船舶主配电板	(109)
6.3 配电板的结构和安装要求	(111)
第7章 船舶电网	(113)
7.1 船舶电网的组成、制式及分类	(113)
7.2 船舶电网单相接地监视和绝缘检测	(114)
7.3 岸电供电	(115)
第3篇 船舶无线电通信设备	(117)
第8章 船舶无线电通信概述	(117)
8.1 船舶无线电通信的应用和发展	(117)
8.2 船舶无线电通信系统	(120)
第9章 全球海上遇险和安全系统(GMDSS)	(124)
9.1 GMDSS的主要功能	(124)
9.2 GMDSS中的通信系统	(125)
9.3 GMDSS系统中船舶使用的设备	(126)
9.4 GMDSS船舶无线电设备的配备	(128)
第10章 全球卫星移动通信系统	(132)
10.1 卫星移动通信系统	(132)
10.2 卫星移动通信系统的比较	(133)
第11章 船舶GPS导航通信指挥系统	(136)
11.1 系统的组成	(136)
11.2 系统工作原理	(136)
11.3 系统的实现	(137)
11.4 系统的应用前景	(139)
参考文献	(140)

第 1 篇 船舶电机、电器及控制

第 1 章 船舶电机

1.1 交流电机

交流电机主要有同步电机和异步电机两大类。同步电机有同步发电机、同步电动机、同步补偿机等。实际应用中,三相交流同步发电机是现代发电机最通用的。异步电机主要有三相异步电动机和单相异步电动机等,在工业生产和日常生活中得到广泛的应用。在交流船舶上也多使用同步发电机和异步电动机,因此本章仅介绍这两种交流电机。

1.1.1 三相异步电动机

1. 三相异步电动机的构造和铭牌

三相异步电动机是所有电动机中应用最广泛的一种,这是由于它具有结构简单、坚固耐用、运行可靠、维护方便和成本较低等优点。目前交流电结船舶的甲板机械和机舱各类辅机都用三相异步电动机来拖动。

1) 三相异步电动机的基本构造

三相异步电动机主要由定子、转子、端盖、轴承、接线盒、风扇、罩壳等组成,如图 1-1 所示。

(1) 定子。定子主要由定子铁芯、定子绕组和机座三部分组成。

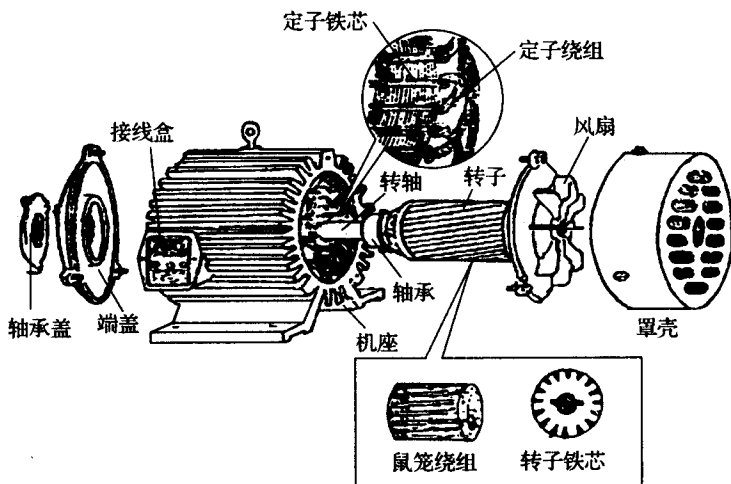


图 1-1 封闭式鼠笼异步电动机结构零件图

①定子铁芯:定子铁芯是电机磁路的一部分,一般由 $0.35 \sim 0.5 \text{ mm}$ 厚、表面涂有绝缘漆或氧化膜的硅钢片叠压制成,用以减少由于交变磁通所引起的铁芯损耗。定子硅钢片成圆环状,内圈上冲有均匀分布的槽口,用以嵌放对称三相绕组。

②定子绕组:定子的三相绕组是电机的电路部分。它是彼此独立的三相绕组,每相绕组按一定的规律嵌放在定子铁芯的槽中,且绕组与铁芯间电气绝缘。三相绕组的三个首端和三个末端都引出固定接于机座外壳的接线盒内,分别以 $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 和 $D4$ 、 $D5$ 、 $D6$ 表示,如图 1-2 所示。根据电网的线电压和各相绕组的额定电压,可以接成星形(Y形)和三角形(Δ 形)。例如,电网线电压是 380 V ,电动机定子各相绕组的额定电压为 220 V ,则定子绕组必须作星形连接,其接法如图 1-2(a)所示;若电动机各相绕组额定电压也是 380 V ,则应作三角形连接,则接法如图 1-2(b)所示。

③机座:机座的作用是固定定子铁芯和定子绕组,并以两个端盖支撑着转子。它是电机机械结构的组成部分,所以应有足够的强度,以承受机械加工和电机运行时的各种作用力。

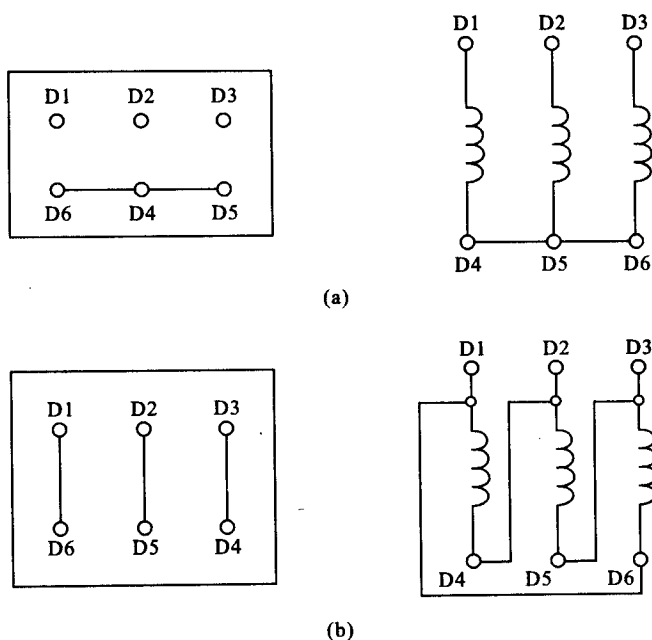


图 1-2 三相绕组引出线的连接方式

(a)星形接法;(b)三角形接法

(2)转子。转子是电动机的转动部分,它的作用是带动其他机械设备旋转,输出机械转矩,由转子铁芯、转子绕组和转轴构成。

①转子铁芯:转子铁芯也是用互相绝缘的硅钢片冲制叠压而成,外形呈圆柱体,外圆周上有均匀分布的沟槽并相互平行,用以嵌放转子绕组。

②转子绕组:三相异步电动机转子绕组可分为鼠笼式和绕线式两种。

鼠笼式转子绕组是在转子铁芯槽中装入没有绝缘的裸铜条,铜条两端用铜环焊接成鼠笼形式,如图 1-3(a)所示。目前 100kW 以下的中小型异步电动机的鼠笼式转子大都用溶化了的铝浇铸在槽内而制成,它通常是把转子槽内导体和两端短路环连同风扇一起用铝铸成一个整体。绕线式转子绕组和定子绕组相似,也是由绝缘导线制成三个线圈嵌入铁芯槽中,且三相绕组一般接成星形。三相绕组的三个引出端接到固定在轴上的三个互相绝缘的滑环上,见图 1-3(b)。有一组安装在端盖上的电刷与滑环接

触。转子绕组通过滑环、电刷连接到外电路(例如起动式调速变阻器)。

③转轴:异步电动机转轴由成型的圆钢加工制成,其作用是支承转子,传递转矩,并保证定子和转子之间各处有均匀的空气隙。空气隙是电机磁路的构成部分,为了减小励磁电流,提高电机的功率因数,一般中小型异步电动机的空气隙约为 $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$ 。

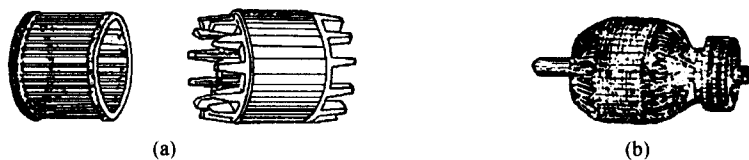


图 1-3 转子绕组

(a)鼠笼式;(b)绕线式

2)三相异步电动机的铭牌

每台电动机的机座上都装有一块铭牌,铭牌上标注有该电动机的一些技术数据,如图1-4所示。

××××电机厂			编号××××		
三相交流鼠笼电动机					
型号	JO ₂ -62-4-H	电压	380 伏	接法	△
容量	17 千瓦	电流	32.6 安	定额	连续
转速	1460 转/分	功率因数	0.88	温升	75℃
频率	50 赫	绝缘等级	E	出厂年月	××年×月

图 1-4 电动机铭牌示例

铭牌数据的含义如下。

①型号:其中 J 为交流异步电动机;O 为封闭式;下标 2 为设计序号;6 为机座号;2 为铁芯长度序号;4 为磁极数;H 代表船用。

②容量:额定功率,是电动机在额定运行情况下,电动机不过热,转轴上所输出的机械功率。

③额定电压:电动机在额定运行时的线电压。

④额定电流:电动机在额定运行时的线电流。

⑤额定频率:电动机在额定运行时的交流电源频率。

⑥额定转速:电动机在额定运行时的转速,单位为 r/min 。

⑦温升:电动机额定运行时,允许超出周围环境温度的数值。它取决于电动机的绝缘材料的等级。绝缘等级是指绝缘材料的耐热等级,通常分为七个等级,如表 1-1 所列。

表 1-1 绝缘材料耐热性能的等级

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
最高允许工作温度($^{\circ}C$)	90	105	120	130	155	180	180 以上

⑧定额:电动机的工作方式。通常分为连续、短时、断续三种。

近年来,我国正在推广使用 Y 系列电动机。它是全封闭自扇冷鼠笼式三相异步电动机,具有效率高、起动转矩大、噪声低、振动小、性能优良、外形美观等优点,功率等级和安装尺寸符合国际电工委员会(IEC)标准。Y 系列电动机型号由四部分组成:第一部分汉语拼音字母 Y 表示异步电动机;第二部分数字表示机座中心高;第三部分英文字母为机座长度代号(S——短机座,M——中机座,L——长机座),字母右下方的数字为铁芯长度代号;第四部分横线后数字为电动机的极数。例如:Y 为异步电机;132 为机座中心高(mm);S₂ 为短机座,第二种铁芯长度;2 为极数。

2. 三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机是利用定子绕组通电后产生的旋转磁场,与转子绕组中产生的感应电流的相互作用产生电磁转矩工作的。

1) 定子旋转磁场的产生

在两极电动机中,定子对称的三相绕组在空间的布置是彼此相隔 120° 。为了简化讲述,我们把一个实际的两极电动机三相绕组用三个线圈 A—X、B—Y、C—Z 来表示,并设三相绕组接成星形。现将三个始端接在三相对称电源上,由于三相绕组对称,所以三相定子绕组内产生三相对称电流 i_A 、 i_B 、 i_C ,如图 1-5(a)、(b)所示。现规定电流的正方向是从各绕组的

始端指向其末端,即各相电流的瞬时值为正时,电流从该相绕组始端流进,末端流出;瞬时值为负时,则从该相绕组末端流进,始端流出。

如图 1-5(c)所示,设三相电源的相序为 A、B、C,且 i_A 的初相角为零,则有

$$i_A = I_m \sin \omega t \quad \text{通入 AX 线圈}$$

$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \text{通入 BY 线圈}$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \text{通入 CZ 线圈}$$

这三个电流都各自产生一个脉动磁场,其合成磁场便是一个旋转磁场。

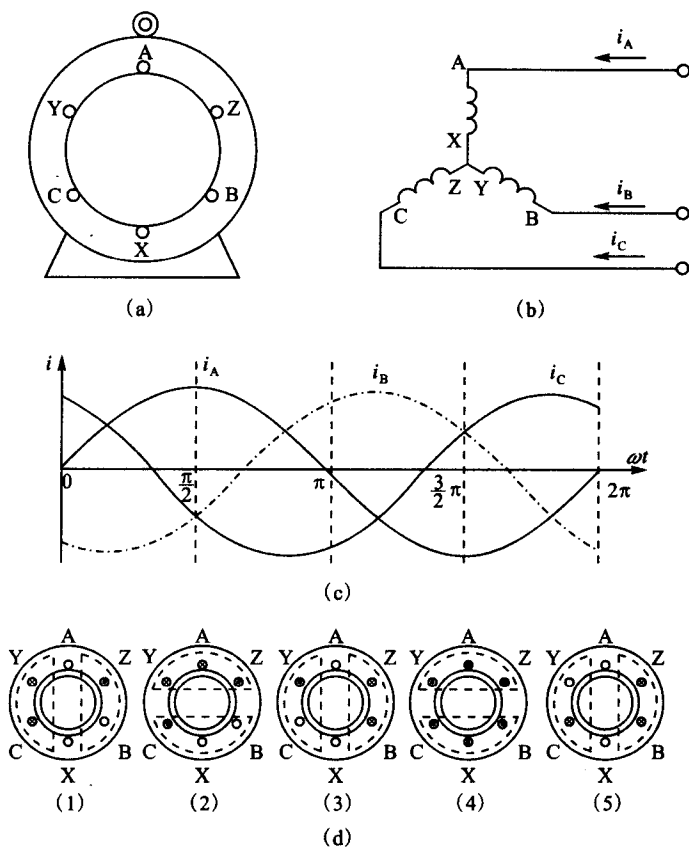


图 1-5 两极定子绕组的旋转磁场

在 $\omega t = 0$ 的瞬间, $i_A = 0$; i_B 是负值, 此刻 B 相电流由末端 Y 流进, 始端 B 流出; i_C 是正值, 则 C 相电流由 C 端进, Z 端出。根据右手螺旋定则将各相电流所产生的磁场合成, 如图 1-5(d)(1) 所示。这时, 相对空气隙和转子的合成磁场, 相当于一对磁极, 且其磁力线方向与纵轴轴线方向一致, 上方为 N 极, 下方为 S 极。当 $\omega t = \pi/2$ 时, 即经过 $1/4$ 周期, i_A 由零值变为最大值, 自 A 流进, 由 X 流出; i_B 仍为负值, 自 Y 流进, B 流出; i_C 已变为负值, 自 Z 流进, C 流出。这时由三相电流所产生的合成磁场, 如图 1-5(d)(2) 所示。可以看出, 这对磁极磁力线方向较 $t = 0$ 时, 按顺时针方向旋转了 90° 。

用同样的分析方法可知: 当 $\omega t = \pi$ 时, 三相电流的合成磁场, 在转子和空气隙中形成的磁场方向, 较 $\omega t = 0$ 时已按顺时针方向转了 180° ; 当 $\omega t = 3\pi/2$ 时, 合成磁场的方向旋转了 270° ; 当 $\omega t = 2\pi$ 时, 合成磁场的方向旋转 360° 。

综上所述, 对称三相电流通入对称三相定子绕组, 所形成的合成磁场, 在空气隙和转子中的磁场方向是随时间而转动的旋转磁场。在两极(一对极)电动机中, 电流变化一个周期, 旋转磁场旋转一周, 即旋转磁场每秒钟转数等于交流电流每秒钟变化的次数(即频率 f)。旋转磁场的转速 n_1 以每分钟转数计, 故当 $f = 50 \text{ Hz}$ 时, 其 $n_1 = 60 f = 60 \times 50 = 3000 \text{ r/min}$ 。

旋转磁场的转向与三相电流的相序有关。上述电动机的三相绕组 A—X、B—Y、C—Z 是按三相电流 A、B、C 的顺序接三相电源的, 产生的旋转磁场以顺时针方向旋转。如图 1-6 所示, 将电源接至定子绕组的三根引线中任意两根对调一下, 则 B—Y 中流进 i_C , C—Z 中流进 i_B 。此时流入三相绕组的三相电流为逆相序 A、C、B, 由此而产生的旋转磁场即为逆时针方向旋转。异步电动机的倒顺转, 就是利用这一原理来实现的。

在四极电动机中, 定子绕组各个线圈的始端(或末端)在空间的位置彼此相隔 60° 。如图 1-7(a)、(b)所示 A 相绕组由线圈 A_1-X_1 与 A_2-X_2 串联组成; B 相绕组由线圈 B_1-Y_1 和 B_2-Y_2 串联组成; C 相绕组由线圈 C_1-Z_1 和 C_2-Z_2 串联组成。

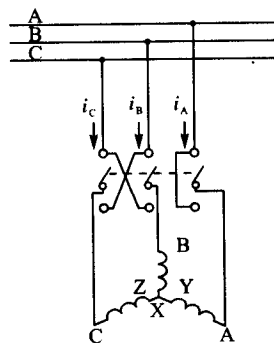


图 1-6 异步电动机的倒顺转电路

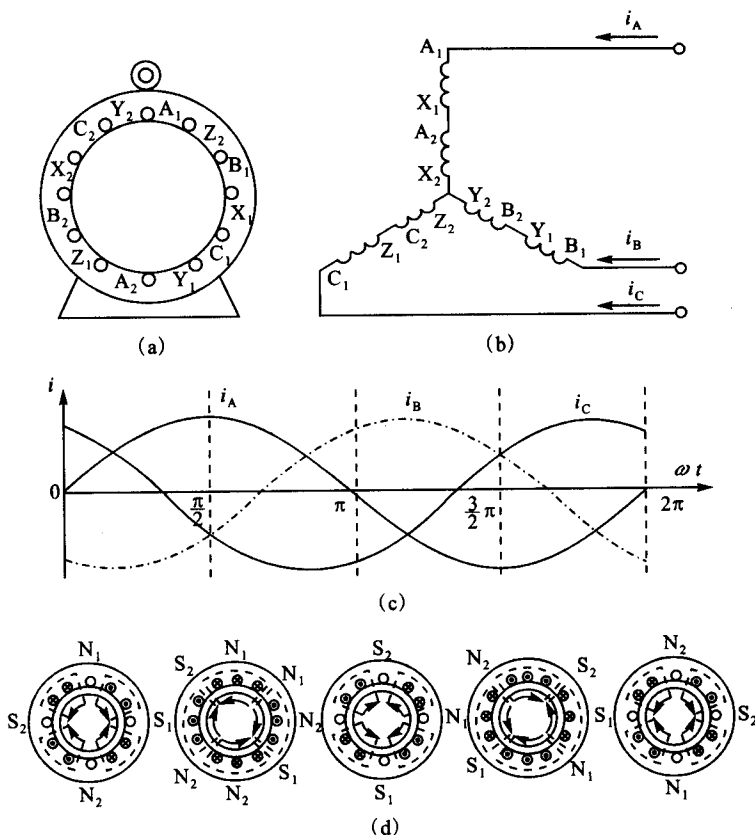


图 1-7 四极定子绕组的旋转磁场

(a)简化的三相绕组分布图;(b)按星形连接的三相绕组接通三相电源;
(c)三相对称电流的波形图;(d)四极绕组的旋转磁场

当通入顺序三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 后,可以确定这时三相电流产生的合成磁场是一个四极旋转磁场。从图 1-7(d)看出,旋转磁场的方向按顺时针方向旋转,但当电流变化一周时,旋转磁场在空间的位置只转过了半周,因此电流的频率为 f 时,旋转磁场每秒钟转数即为 $f/2$,每分钟转数应为 $n_1 = 60 \times f/2$ 。故在工频电流作用下,产生的旋转磁场转速应为 $n_1 = 60 \times 50/2 = 1500 \text{ r/min}$ 。通过对两极和四极旋转磁场的分析,可以得出如下结论:

①三相对称定子绕组通入三相对称交流电时,产生一个旋转磁场,旋转磁场的极对数与定子绕组分布有关。

②旋转磁场的旋转方向与通入定子绕组的三相交流电相序有关。如果将电源进线中任意两个接线对调,旋转磁场转向相反。

③旋转磁场的转速与交流电的频率 f 和磁场的极对数 P 有关。旋转磁场的转速也称同步转速 n_1 ,可用下式计算:

$$n_1 = \frac{60f}{P}, \text{r/min}$$

2) 三相异步电动机的运行原理

如图 1-8 所示,当定子绕组通入对称的三相电流时,就产生一个同步转速为 n_1 的旋转磁场。设旋转磁场按顺时针方向旋转,且某一瞬间,定子旋转磁场的方向由上至下。由于转子和旋转磁场存在相对运动,转子导体切割旋转磁场而产生感应电动势,其方向用右手定则判定,转子上半部分导体中感应电动势的方向指向读者,下半部分导体中感应电动势方向背离读者。

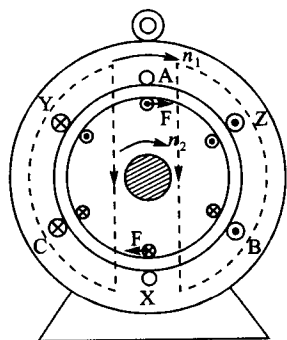


图 1-8 异步电动机的工作原理

由于转子导体被短路环所短路,在感应电动势的作用下,转子导体内将产生与感应电动势方

向一致的感应电流。载有感应电流的转子绕组在旋转磁场中将受到电磁力的作用,电磁力的方向用左手定则判定,作用于转子导体上电磁力在转子的轴上形成转矩。在此转矩的作用下,转子旋转的方向恰好和旋转磁场的转向一致。若旋转磁场反转,则电磁转矩也将使转子旋转方向反转。

转子转速以 n_2 表示,则 n_2 总是小于同步转速 n_1 ,这是因为倘使转子转速达到同步转速,则转子与旋转磁场之间就没有了相对运动,转子中就不会产生感应电流,所受的电磁力也将消失,自然此时转子转速必定要慢下来。可见,转子转速与同步转速之间必然存在着转速差,这是异步电动机工作的必要条件。为此,这种电动机称为异步电动机。另外,由于异步电动机是基于电磁感应现象而运行的,因此也称感应电动机。

3) 异步电动机的转差率

为表示异步电动机转子转速与同步转速的关系,常用转差率的概念。通常,将同步转速与转子转速之差与同步转速之比值,称为异步电动机的转差率,用 S 表示,即:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%$$

转差率是异步电动机的一个重要参数。当转子尚未转动时, $n_2 = 0$, $S = 1$; 当转子等于同步转速时, $n_2 = n_1$, 则 $S = 0$, 故异步电动机的转差率的变化在 $0 \sim 1$ 之间。转速越高, 转差率越小。目前一般生产的异步电动机在额定负载运行时, 其转差率在 $1\% \sim 6\%$ 之间; 空载运行时, 转差率在 $0.05\% \sim 0.5\%$ 之间。

4) 三相异步电动机的机械特性

三相异步电动机的电磁转矩 M , 是转子各载流导体中感应电流与旋转磁场相互作用, 受到电磁力所产生的转矩的总和。此电磁转矩的大小与电机结构、旋转磁场的强弱、感应电流的大小等因素有关。由于感应电流又与感应电势产生的必要条件转差及转子阻抗等因素有关, 因此电磁转矩的分析计算比较复杂。然而, 对于各类产品定型的异步电动机, 其他因素都可认为是一定的。我们主要考察电磁转矩随转差率 S 变化的规律。图1-9为电磁转矩 M 随转差率 S 变化的曲线, 称之为异步电动机的转矩特性曲线。

转矩特性曲线表明: 异步电动机定子绕组刚接通电源时, $S = 1$, 转轴上产生起动转矩。当起动转矩 M_q 大于负载转矩时, 电机开始转动。转矩随电动机转速的增加 (S 减小) 而增大, 一直达到最大值 M_m , 然后转矩随 S 减小而变小, 减低到与负载的反抗转矩平衡为止, 此时电动机以稳定转速旋转。

为了直接说明异步电动机的运行性能, 把电磁转矩 M 与 S 的曲线关系转化为 M 与转子转速 n_2 的关系, 这种曲线称为三相异步电动机的机械特性曲线, 见图 1-10。

机械特性曲线表明: 当电动机在 AB 区域内工作时, 如果负载的反抗转矩减小, 则转子转速将增大, 电磁转矩将减小, 从而与负载转矩达到新的平

衡。反之,若负载增大,转子转速会因此而降低,电磁转矩将相应增大,以平衡负载转矩的增大。但是,若负载增大到超过了最大转矩 M_m ,电动机将超过 AB 工作区域,转入 BC 区域内,此时电动机的转速将急剧下降,直到停转。因此,曲线 AB 区域为电动机的工作稳定区域。

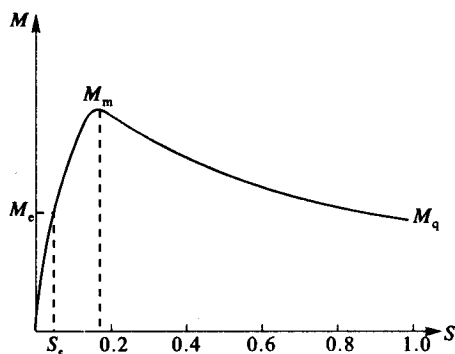


图 1-9 异步电动机的转矩特性曲线

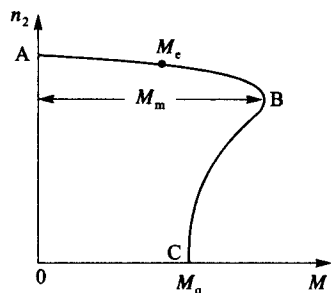


图 1-10 三相异步电动机的机械特性曲线

电动机在额定运行时,转子轴上输出的转矩,称为该电动机的额定转矩,用 M_e 表示。额定转矩的选择不能靠近最大转矩值,因为电动机略有超载,便会立即停转。我们用最大转矩与额定转矩比值来衡量电动机的过载能力,即

$$K_g = \frac{M_m}{M_e}$$

异步电动机的过载能力 K_g 的值一般为 1.8~2.5。

电动机的启动转矩与额定转矩的比值表征其起动能力,以 K_q 表示,即

$$K_q = \frac{M_q}{M_e}$$

异步电动机的起动能力一般在 1.1~2 之间。

通常异步电动机一经起动,很快就进入机械特性曲线的 AB 区域稳定地运行。由图 1-10 看出,曲线 AB 区域几乎是一条稍微向下倾斜的直线,这说明电动机从空载到满载其转速下降很少,这样的机械特性,称为硬特性。

此外,异步电动机外加电压 U 的改变,将同时影响旋转磁场和转子感