

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

电机与拖动基础

陈 勇 陈亚爱 主编

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



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 简 介

本书主要介绍电机的机械特性、各种运转状态、启动电阻、调速等基本理论及应用,主要包括:绪论、直流电机、电力拖动系统基础、直流电机的电力拖动、变压器、三相交流电动机、三相异步电动机的电力拖动、微控电机、电动机容量的选择。另外,还结合内容介绍列有专业术语英语词汇。每章均有与生产实际结合密切的典型实例,章后附有思考题与习题。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、机械电子、机械制造及其自动化等相关专业的本科生教材,也可供相关专业的研究生和工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/陈勇,陈亚爱主编. —北京:电子工业出版社,2007.5

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 978-7-121-04384-0

I. 电… II. ①陈…②陈… III. ①电机—高等学校—教材②电力传动—高等学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 068766 号

责任编辑:凌 毅

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张:17.75 字数:455 千字

印 次: 2007 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 23.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zhts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

根据“新编电气与电子信息类本科规划教材”编委会的总体要求精神,遵照目前高校“电机与拖动基础”课程的教学大纲要求,依据编委会审定通过的教材编写大纲,我们编写了本书。

本书主要内容包括:绪论,介绍常用的物理概念和定律;第1章介绍直流电机原理;第2章介绍电力拖动系统基础;第3章阐述直流电动机的电力拖动的机械特性、启动、调速、电动与制动运行;第4章为变压器;第5章阐述三相交流电动机电枢绕组电动势与磁动势及工作原理和工作特性;第6章阐述三相异步电动机的电磁关系、机械特性、启动、电动与制动运行;第7章为微控电机;第8章介绍电动机容量的选择。本书不仅注重电力拖动的理论分析,而且注意工程实际的应用,为此在书中有结合工程实际的例题、思考题与习题。

作为教材,编者力图做到兼顾基础性、系统性、实用性和先进性。本书具有以下主要特点:

(1)以电力拖动系统中应用最广泛的他励直流电动机和三相异步电动机及其电力拖动为重点。

(2)侧重于基本原理和基本概念的阐述,并始终强调基本理论的实际应用。阐述电机原理时紧密围绕着电力拖动,并着重分析电动机的机械特性。

(3)文字阐述方面层次清楚、概念准确、通俗易懂、深入浅出。内容阐述循序渐进,富于启发性,便于自学。

(4)针对各章内容中的重点和难点,精心编写了例题、思考题与习题。每章均有与生产实际结合密切的典型实例,这些实例具有典型性、规范性、启发性、趣味性和正确性,能很好地引导学生掌握本课程的主要理论,培养学生解决工程实际问题的能力。

(5)书中结合内容介绍列有专业术语英语词汇,附录中列有专业术语中英文索引,有利于学生提高外语水平,适应外向型经济发展对人才的要求。

(6)适用面宽。本书从内容上、写法上都考虑了为不同层次、不同学时学生的使用。只要对书中内容稍加取舍,都可选作为教材。书中带星号(*)的部分,根据需要可作为选学内容。

(7)本书中的图形符号、文字符号及量纲和单位均采用了国家最新标准。

本书由陈勇和陈亚爱担任并列主编,蔡军、罗萍和向敏担任副主编。陈亚爱编写绪论、第1章和第4章;陈勇编写第2章、第3章和附录A;蔡军编写第5章;罗萍编写第6章和第8章;向敏编写第7章。全书由陈勇、陈亚爱统稿。

本书有配套的电子课件,可登录电子工业出版社的华信资源教育网:www.huaxin.edu.cn或www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

在本书编写的过程中,得到了上海工业大学阮毅教授等一些专家、教授的大力支持,同时还得到了重庆邮电大学、北方工业大学、电子工业出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。书中部分内容的编写参照了有关文献,恕不一一列举,谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中一定有不少疏漏和不妥之处,敬请前辈、同仁们及广大读者见谅并不吝指正。

编 者
2007 年 5 月

目 录

绪论	1
第1章 直流电机	7
1.1 直流电机的结构及基本工作原理	8
1.1.1 直流电机的基本工作原理及主要结构	8
1.1.2 直流电枢绕组和电机模型	11
1.1.3 直流电机的铭牌数据和主要系列	13
1.2 直流电机的磁场	14
1.2.1 直流电机的励磁方式	14
1.2.2 直流电机空载时的磁场	15
1.2.3 直流电机负载时的磁场	17
1.2.4 直流电机的电枢反应	18
1.2.5 直流电机的感应电动势和电磁转矩	19
1.3 直流发电机	20
1.3.1 直流发电机的基本方程式	20
1.3.2 他励直流发电机的运行特性	22
1.3.3 并励直流发电机	23
1.4 直流电动机	25
1.4.1 直流电动机的基本方程式	25
1.4.2 直流电动机的工作特性	27
1.4.3 直流电动机的机械特性	28
1.5 直流电机的换向	32
1.5.1 换向的物理过程	32
1.5.2 改善换向的方法	33
1.6 实例(应用)	34
本章小结	36
思考题与习题	37
第2章 电力拖动系统基础	39
2.1 电力拖动系统运动方程式	40
2.2 多轴电力拖动系统的简化	42
2.2.1 工作机构为转动情况时转矩与飞轮矩的折算	42
2.2.2 工作机构为平移运动时转矩与飞轮矩的折算	44
2.2.3 工作机构作提升和下放重物运动时转矩与飞轮矩的折算	45
2.3 生产机械的负载转矩特性	46

2.4 电力拖动系统稳定运行的条件	48
2.5 实例(应用)	50
本章小结	50
思考题与习题	51
第3章 直流电动机的电力拖动	53
3.1 他励直流电动机的机械特性	54
3.1.1 机械特性表达式	54
3.1.2 固有机械特性	54
3.1.3 人为机械特性	55
3.1.4 根据电机的铭牌数据绘制机械特性	57
3.2 他励直流电动机的启动	58
3.2.1 系统启动的要求	58
3.2.2 启动方法	59
3.3 他励直流电动机的电动与制动	61
3.3.1 他励直流电动机的电动	61
3.3.2 他励直流电动机的制动	62
3.4 他励直流电动机的调速	70
3.4.1 他励直流电动机的调速方法	70
3.4.2 调速的性能指标	74
3.4.3 调速方法与负载性质的匹配问题	77
3.5 实例(应用)	79
本章小结	81
思考题与习题	81
第4章 变压器	83
4.1 概述	84
4.1.1 变压器的用途与分类	84
4.1.2 变压器基本工作原理	84
4.1.3 变压器主要结构	85
4.1.4 变压器铭牌数据和主要系列	85
4.2 单相变压器的空载运行	87
4.2.1 变压器空载运行时的磁场	87
4.2.2 变压器各电磁量正方向	87
4.2.3 空载运行时电压、电动势与主磁通的关系	88
4.2.4 变压器的空载电流	89
4.2.5 变压器空载运行时相量图与等效电路	89
4.3 单相变压器的负载运行	90
4.3.1 负载运行时的磁动势平衡方程式	91
4.3.2 负载运行时的基本方程式	91
4.3.3 变压器的参数折算	92
4.3.4 折算后变压器的基本方程式	93

4.3.5 等效电路	93
4.3.6 相量图和功率关系	94
4.4 变压器参数的实验测定	97
4.4.1 变压器空载实验	97
4.4.2 变压器短路实验	98
4.5 标么值	101
4.6 变压器的运行特性	102
4.6.1 电压变化率和外特性	102
4.6.2 变压器效率和效率特性	102
4.7 三相变压器	103
4.7.1 三相变压器的磁路系统	103
4.7.2 三相变压器的绕组连接组别	104
* 4.7.3 实验确定绕组的极性和三相变压器的连接组别	108
* 4.8 其他用途的变压器	109
4.8.1 自耦变压器	109
4.8.2 仪用互感器	110
* 4.9 变压器并联运行	111
4.9.1 变比不等时的变压器并联运行	112
4.9.2 连接组别不同时的变压器并联运行	112
4.9.3 短路阻抗标么值不等时的并联运行	112
4.10 实例(应用)	113
本章小结	114
思考题与习题	115
第5章 三相交流电动机	117
5.1 交流电机电枢绕组	118
5.2 旋转磁动势	121
5.2.1 单相脉振磁场	122
5.2.2 三相绕组的合成旋转磁场	126
5.2.3 两相绕组产生的旋转磁动势	129
5.3 交流绕组的感应电动势	131
5.3.1 整距线圈感应电动势	131
5.3.2 整距分布线圈感应电动势	132
5.3.3 短距线圈感应电动势	133
5.3.4 一相绕组感应电动势	134
5.3.5 绕组的谐波感应电动势	134
5.4 三相异步电动机	136
5.4.1 基本结构及工作原理和铭牌数据	136
5.4.2 转子静止时的异步电动机	139
5.4.3 转子转动时的异步电动机	145
5.4.4 异步电动机工作特性及参数测定	152

5.5 同步电机	155
5.5.1 同步电动机	155
5.5.2 同步电动机的电压方程式和相量图	157
5.5.3 同步电动机的运行特性	160
5.5.4 同步电动机的启动	161
5.6 实例(应用)	162
本章小结	164
思考题与习题	165
第6章 三相异步电动机的电力拖动	167
6.1 三相异步电动机的机械特性	168
6.1.1 机械特性的物理表达式	168
6.1.2 机械特性的参数表达式	169
6.1.3 机械特性的实用表达式	173
6.2 三相异步电动机的启动	174
6.2.1 鼠笼型异步电动机的启动	175
6.2.2 绕线式异步电动机的启动	180
6.2.3 特殊形式鼠笼型异步电动机的启动	185
* 6.2.4 异步电动机的软启动	187
6.3 三相异步电动机的制动	191
6.3.1 反接制动	191
6.3.2 回馈制动	193
6.3.3 能耗制动	194
* 6.3.4 异步电动机的软制动和软停车	197
6.4 三相异步电动机的调速	199
6.4.1 三相异步电动机的变极调速	199
6.4.2 降低定子电压的调速	201
6.4.3 三相异步电动机的变频调速	203
6.4.4 绕线转子串电阻的调速	205
6.4.5 绕线式异步电动机的串级调速	206
6.4.6 滑差电机调速	208
6.5 实例(应用)	211
本章小结	213
思考题与习题	214
第7章 微控电机	217
7.1 概述	218
7.2 单相异步电动机	218
7.2.1 单相异步电动机的基本工作原理	218
7.2.2 单相异步电动机的启动	219
7.3 测速发电机	220
7.3.1 直流测速发电机	220

7.3.2 交流测速发电机	222
7.4 伺服电动机	224
7.4.1 直流伺服电动机	224
7.4.2 交流伺服电动机	226
7.5 步进电动机	229
7.5.1 结构与基本工作原理	230
7.5.2 运行特性	232
7.5.3 步进电动机的驱动电路	235
7.6 其他驱动和控制微电机	235
7.6.1 自整角机	235
7.6.2 旋转变压器	241
7.6.3 无刷直流电动机	247
7.7 实例(应用)	249
本章小结	252
思考题与习题	252
第8章 电动机容量的选择	253
8.1 电动机选择的主要内容	254
8.2 电动机的发热、冷却与工作制	255
8.2.1 电动机的发热与冷却	255
8.2.2 电动机的工作制	258
8.3 电动机容量的选择	258
8.3.1 连续工作制电动机容量的选择	259
8.3.2 短时工作制电动机容量的选择	261
8.3.3 周期性断续工作制电动机容量的选择	262
8.4 实例(应用)	263
本章小结	267
思考题与习题	268
附录 A 中英文术语索引	269
参考文献	274

绪 论

1. 电机的应用和分类

由于电能易于转换、传输、分配和控制,现代能源的主要形式是电能,所以,与电能密切关联的电机广泛应用于社会生产的各个部门和社会生活的各个方面。

电机按不同的功能可分:作为动力设备用和作为控制元件用两大类,如图 0-1 所示。

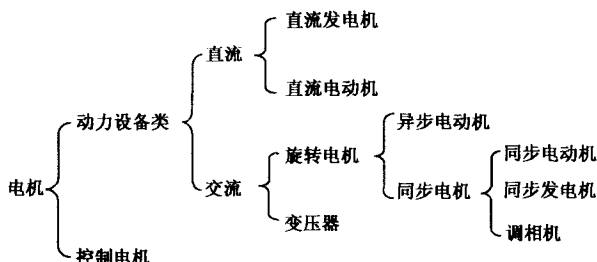


图 0-1 电机分类图

普通电机的主要任务是能量转换,主要问题是如何提高能量转换的效率;控制电机的主要任务是完成控制信号的传递和转换,而能量转换是次要的,控制电机应具有高可靠性、高精度和快速响应等性能,它被广泛应用于各种自动控制系统中。

电机和电力拖动在国民经济中有着广泛的应用,并起着非常重要的作用,例如:

电能生产——由同步发电机生产;

高压输电——由升压变压器将发电机发出的电压升高到输电电压再输送;

降压用电——由降压变压器将输来的高压电降为所需低电压,供给用电设备;

生产机械的拖动——由各种电动机或电力拖动系统实现;

控制系统中的信号转换——由各种控制电机完成。

2. 本教材内容、课程性质、教学目的及学习方法

(1) 本教材内容

“电机与拖动基础”课程是把“电机学”和“电力拖动基础”两门课整合为一门课。本教材以电力拖动系统中应用最广泛的电机和电力拖动为重点,从使用的角度介绍交、直流电机、变压器、控制电机的基本结构、工作原理、主要工作特性及电力拖动系统的运行特性等。

(2) 课程性质

本课程属于专业技术基础课,学习过程中要用到《高等数学》、《大学物理》、《电路》等课程的知识。本课程虽是基础课,但又具有专业性,讲授的内容是电机方面非常具体、实际的问题。因此,课程的特点是理论性强,实践性也强。

(3) 教学目的

本课程的教学目的是,通过课程的学习,使学生掌握常用交、直流电机及变压器的基本结

构、工作原理、运行性能和实验方法;了解直流电力拖动和交流电力拖动的基础知识,掌握他励直流电动机启动、制动及调速等各种运行状态的静动态特性和参数计算;掌握异步电动机的特性分析、启动、制动方法和交流电动机常用的调速方法;学会选择电动机容量的方法。为后续专业基础课和专业课的学习准备必要的基础知识,提高学生分析问题、解决问题的能力,也为从事自动化及电气工程技术工作和科学研究奠定初步基础。

(4)学习方法

首先,学习中应注意,在实际运行着的电机中,电、磁、力、热等物理定律同时起作用,互相制约,分析解决这种复杂问题时,往往需忽略一些次要矛盾,抓住主要矛盾加以解决,只要所得结果正确,引起的误差在允许的范围内,这在工程上是允许的,这与以前所学课程中解决问题理想化、单一化有很大区别,学习时需有足够的认识。

其次,应注意本课程的动力用电机包括变压器、交流异步电动机、同步电动机、直流电机等,种类繁多,各具特性,但就其内部电磁关系耦合过程和机电能量转换关系,仍有其内在联系。它们的基本工作原理都是建立在电磁感应定律和电磁力定律基础上的;它们的能量转换都是以磁场为媒介,其电磁关系可抽象为电路参数,得出基本方程式和等值电路,这是共性方面。在学习中应将变压器、交流电动机、直流电机的相似性有机地统一起来,注意课程内容的内在联系,形成学习本课程鲜明的主线,只要学好了变压器,对交流电机和直流电机的内容就比较容易掌握了。

最后应注意,理论联系实际,注重做好本课程开设的相关实验,立足于学会使用各类电机,在实验中学习解决实际问题的方法,注意培养解决工程实际问题的能力。

3. 本课程中常用的基本电磁定律

学习本课程过程中常要用到的基本电磁定律有:全电流定律、磁路欧姆定律、电磁力定律、电磁感应定律、基尔霍夫电流定律和电压定律等,为便于读者学习,现简述于下。

(1)电路定律

① 电路欧姆定律:流过电阻 R (resistance) 的电流 I (current) 大小与电阻两端的电压 U (voltage) 成正比,与电阻 R 的大小成反比,即有

$$\begin{cases} I = \frac{U}{R}, \text{直流电路} \\ \dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}, \text{交流电路} \end{cases} \quad (0-1)$$

② 基尔霍夫第一定律:电路中流入任意节点电流的代数和等于零,即有

$$\begin{cases} \sum I = 0, \text{直流电路} \\ \sum \dot{I} = 0, \text{交流电路} \end{cases} \quad (0-2)$$

③ 基尔霍夫第二定律:对电路中任一回路,电压降的代数和等于电动势(emf) 的代数和,即有

$$\begin{cases} \sum U = \sum E, \text{直流电路} \\ \sum \dot{U} = \sum \dot{E}, \text{交流电路} \end{cases} \quad (0-3)$$

(2) 电磁感应定律

一匝数(turn)为 N 的线圈(winding), 在变化的磁场中产生的感应电动势 e (induce electromotive force) 的大小与线圈匝数 N 和线圈所交链的磁通(the magntic flux)对时间的变化率 $d\Phi/dt$ 成正比, 当感应电动势正方向与产生它的磁通正方向符合右手螺旋定则时, 则有

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (0-4)$$

(3) 全电流定律

磁场中沿任一闭合回路的磁场强度 H (the magnetic field intensity) 的线积分等于该闭合回路所包围的所有导体电流的代数和, 即有

$$\oint H dl = \sum IN \quad (0-5)$$

(4) 电磁力定律

载流导体在磁场中受到力的作用, 当磁场与导体相互垂直作用时, 作用在载流导体的电磁力为

$$F = B l I \quad (0-6)$$

(5) 磁路定律

①磁路基尔霍夫第一定律: 在磁路(magnetic circuit)中根据磁通的连续性可得: 穿入任一闭合面的磁通必等于穿出该闭合面的磁通, 即磁路中通过任何闭合面上的磁通的代数和等于零, 则有

$$\sum \Phi = 0 \quad (0-7)$$

式中, 一般将穿出闭合面的磁通取正号, 穿入闭合面的磁通取负号。

②磁路基尔霍夫第二定律: 根据麦克斯韦方程(式(0-5))可得出: 在闭合的磁路中, 各段磁压降的代数和等于闭合磁路中磁动势(mmf)的代数和, 即有

$$\sum H L = \sum IN \quad (0-8)$$

式中, H 为磁场强度(A/m); L 为各段磁路的长度(m); N 为线积分线路所包围的导体数; I 为每根导体所流过的电流(A)。

③磁路欧姆定律: 在无分支的磁路中, 磁通 Φ 与磁动势 F 大小成正比, 与磁路中的总磁阻 R_m (total reluctance) 的大小成反比, 即有

$$\Phi = \frac{F}{R_m} \quad (0-9)$$

式中, R_m 为磁路的总磁阻(1/H)。

磁路与电路有许多相似之处, 见表 0-1。

表 0-1 磁路与电路对比表

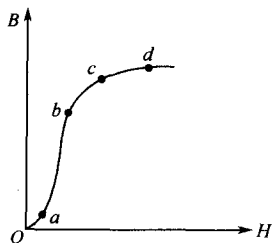
电 路		磁 路	
电导率	γ	磁导率	μ
电流	I	磁通	Φ
电动势	E	磁动势	F
电阻	R	磁阻	R_m
电压降	$U(IR)$	磁压降	$HL(\Phi R_m)$
电路欧姆定律	$I = \frac{U}{R}$	磁路欧姆定律	$\Phi = \frac{F}{R_m}$
电路基尔霍夫第一定律	$\sum I = 0$	磁路基尔霍夫第一定律	$\sum \Phi = 0$
电路基尔霍夫第二定律	$\sum IR = \sum E$	磁路基尔霍夫第二定律	$\sum HL = \sum IN$

4. 电机中铁磁材料的特点

电机主要由两大系统组成:电路系统和磁路系统。铁磁材料(Ferromagnetic Materials)是组成磁路的主要部分。所谓铁磁材料是指导磁性能好的材料,如铁、镍、钴等及其合金。铁磁材料的磁导率(the magnetic permeability) μ_{Fe} 要比非铁磁材料磁导率 μ 大得多($\mu_{Fe} \gg \mu$),非铁磁材料磁导率接近真空磁导率 μ_0 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$),电机中常用铁磁材料的磁导率 $\mu_{Fe} = (2000 \sim 80000) \mu_0$ 。铁磁材料能在外磁场中呈现很强的磁性,这种现象称为磁化(magnetization),磁化是铁磁材料的特性之一。

(1) 磁化曲线(magnetization curve)

在非铁磁材料中,磁通密度 B 和磁场强度 H 之间呈线性关系,即 $B = \mu_0 H$ 。对于铁磁材料,磁导率 μ_{Fe} 除了比 μ_0 大得多以外,还与磁场强度及物质磁状态的历史有关,所以铁磁材料的磁导率 μ_{Fe} 不是常数。在工程计算时,事先将各种铁磁材料用实验的方法,测得它们在不同磁场强度 H 下对应的磁通密度 B ,绘制成 $B-H$ 曲线,这条 $B-H$ 曲线就称为磁化曲线。将未经磁化的铁磁材料进行磁化,磁场强度 H 由零增大时,磁通密度 B 随之增大,所得的 $B=f(H)$ 曲线称为起始磁化曲线,如图0-2所示。



从图0-2可见,曲线分4段,在 Oa 段:当 H 增大时, B 增大,但 B 增大速度较慢;在 ab 段: B 随 H 迅速增大(呈直线段);在 bc 段: B 随 H 增大的速度又较慢;在 cd 段:为磁饱和区(又呈直线段)。其中, a 点称为跖点;拐点 b 称为膝点; c 点为饱和点。过了饱和点 c ,铁磁材料的磁导率趋近 μ_0 。

铁磁材料具有如下特点:它的磁化曲线具有饱和性,磁导率 μ_{Fe} 不是常数,且随 H 的变化而变化。

图 0-2 起始磁化曲线

(2) 磁滞回线(the hysteresis loop)

铁磁材料被反复磁化时, $B-H$ 曲线不是单值的,而是一条磁滞回线,如图0-3所示。从图中可见,同一个 H 值下,有两个 B 值与之对应。当 $H=0$ 时, $B \neq 0$, $B=B_r$, B_r 称为剩磁(residual flux density or remanent magnetization);当 $B=0$ 时, $H \neq 0$, $H=H_c$, H_c 称为矫顽力(coercivity)。

有文献指出:剩磁的意义在于,当没有外部励磁时,它也能在磁路中产生磁通。用小磁体把留言条贴在电冰箱上,就是一个实例。剩磁也广泛用在喇叭和永磁电机等装置中。

不同的铁磁物质,其磁滞回线宽窄是不同的,当铁磁材料的磁滞回线较窄时,可用它的平均磁化曲线,即基本磁化曲线进行计算(如图0-3中的曲线3所示)。

根据磁滞回线形状的不同,铁磁材料可分为硬磁材料(hard magnetic material)和软磁材料(soft magnetic material)。

硬磁材料的磁滞回线胖宽,剩磁、矫顽力大,如钨钢、钴钢、镍铝钴合金、钕铁硼等。一般用来制造永久磁铁。

软磁材料的磁滞回线瘦窄,剩磁、矫顽力小,如硅钢片、铸钢等。由于电机铁心采用软磁材

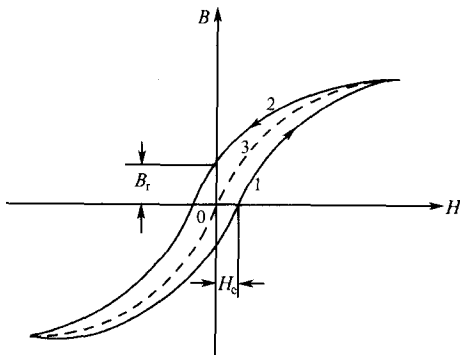


图 0-3 磁滞回线

料制成,其磁滞回线瘦窄,在进行磁路计算时,为了简化计算,不考虑磁滞现象,而用基本磁化曲线来表示 B 与 H 之间的关系,故通常所讲的铁磁材料的磁化曲线是指基本磁化曲线。

(3)交流磁路中的铁心损耗(core loss)

交流磁路中存在着铁心损耗,铁心损耗又分为磁滞损耗(hysteresis loss)和涡流损耗(eddy-current loss)。

①磁滞损耗:铁磁材料在交变的磁场中反复磁化,磁畴(domains)间相互摩擦,产生损耗,这种损耗称为磁滞损耗。磁滞损耗与交变磁场的频率 f 、铁心的体积 V 、磁滞回线的面积成正比。磁滞损耗功率可用下式表示

$$p_h = k_h \cdot f \cdot B_m^n \cdot V \quad (0-10)$$

式中, k_h 为磁滞损耗系数,其大小取决于材料性质;对一般电工钢片, $n=1.6\sim 2.3$; f 为磁通交变频率; B_m 为磁通密度的最大值。

② 涡流损耗:铁心是有阻值的,当磁通交变时,铁心中就会感应交变的电动势,在导电的铁心中就会产生环流,这种电流称为涡流,涡流产生的损耗称为涡流损耗。涡流损耗功率可用下式表示

$$p_w = k_w \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (0-11)$$

式中, k_w 为与材料有关的比例系数。

③铁心损耗:铁心中的磁滞损耗和涡流损耗之和称为铁心损耗,即有

$$p_{Fe} = p_h + p_w \quad (0-12)$$

第 1 章

直流电机

本章教学基本要求

1. 了解直流电机的主要结构,注意换向器和电刷的作用。
2. 熟悉直流发电机和直流电动机基本工作原理,理解感应电动势和电磁转矩这两个机电能量转换要素的物理意义,掌握求解它们的计算方法。
3. 掌握直流电机的运行原理、电动势、转矩平衡方程式及不同励磁方式的直流电机的工作特性。
4. 了解直流电机的换向。

重点

直流电机的基本平衡方程式和工作特性。

直流电机(DC machines)是将机械能转换为直流电能或将直流电能转换为机械能的一种装置。把机械能转换为电能的直流电机称为直流发电机(DC generators),把电能转换为机械能的直流电机称为直流电动机(DC motor)。

由于直流电机具有易于实现转速调节和转矩控制的特点,被广泛应用于需大范围调速和精确控制的场合。近年来,随着电力电子技术、微电子技术、现代控制理论及电机理论和技术的发展,交流调速系统在一些场合替代了直流电机,但由于直流电机性能的多样化及其拖动系统更简单,使它仍有广泛的用途。

1.1 直流电机的结构及基本工作原理

1.1.1 直流电机的基本工作原理及主要结构

1. 直流发电机的基本工作原理

直流发电机的工作原理是建立在电磁感应定律基础之上的。下面用简单直流电机模型来说明,如图 1-1 所示。

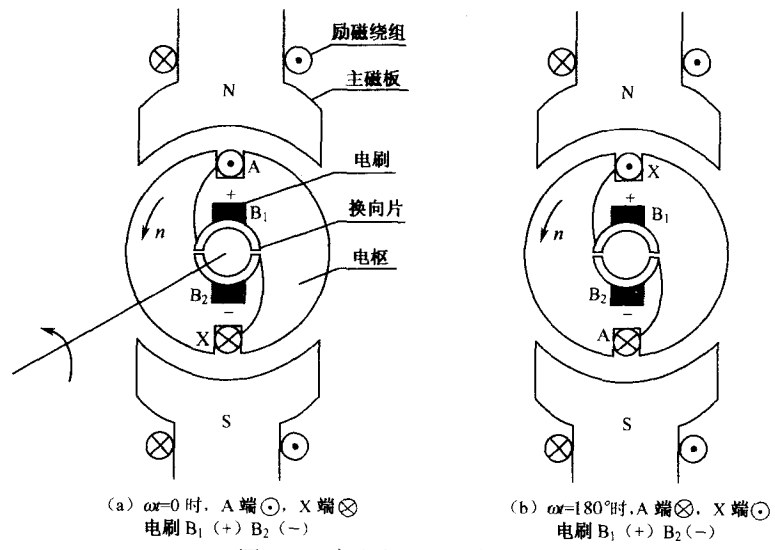


图 1-1 直流发电机工作原理

从图 1-1 中可见,给励磁绕组(the exciting winding)通入直流电(DC source),使在空中固定不动的主磁极(the field structure)呈现上为 N 极、下为 S 极(主磁极也可以由永磁体(permanent magnets)做成)。在 N 和 S 极之间有电枢(armature),电枢铁心上安放由 A 和 X 两根导体组成的电枢线圈(the armature winding),线圈的首端(A)和末端(X)分别连在两个相互绝缘的半圆形铜质换向片(commutator segments)上,换向片形成的整体称为换向器(commutator)。换向器固定在转轴上,且与转轴绝缘。换向片上安放着一对固定不动的电刷(brushes) B_1 和 B_2 ,电刷能与外电路连接。把在空中固定不动的部分(主磁极、电刷等)称为定子(stator),把随转轴转动的部分(线圈、电枢铁心、换向器等)称为转子(rotor)(或称为电枢)。定、转子之间有一空隙,称为气隙(air gap)。磁极 N 极和 S 极所产生气隙磁通密度沿空间分布如图 1-2 所示。

当原动机带动电枢逆时针方向旋转时,导体切割磁力线,根据电磁感应定律,导体内产生