

DIANJI YUANLI JIQI YINGYONG

电机原理及其应用

郑新才 陈刚 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILLINOIS 60607-7099

CHICAGO, ILLINOIS 60607-7099

电机原理及其应用

郑新才 陈刚 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共分为 5 篇 30 章,从应用角度出发分别论述了变压器、感应电机、同步电机和直流电机的基本结构、运行原理、运行性能。本书在内容的选取、编排上进行了多方面的探索,更追求实用性和针对性,深入浅出、循序渐进、前后呼应地介绍了各个知识点,通俗易懂,十分适宜自学。书中内容与现场实际结合紧密。

本书可作为电气工程及其自动化专业本科生的教材,为即将踏入电力行业门槛的同学们做好知识储备,也可作为注册电气工程师的考试教材用书,还可供相关领域的工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机原理及其应用/郑新才,陈刚主编. —北京:中国水利水电出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6105 - 2

I. 电… II. ①郑…②陈… III. 电机学 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189408 号

书 名	电机原理及其应用
作 者	郑新才 陈刚 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 26 印张 617 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	78.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书以变压器、直流电机、感应电机和同步电机四类典型通用电机为研究对象，仔细翔实地阐述了电机的基本工作原理和运行特性，涵盖了有关电机的完整而简明的基础知识，重点强调了理论分析、现场应用和技术实践，为电力专业人员正确处理故障提供了所必须掌握的知识点，有助于提高专业人员技术水平，从而间接提高电网可靠运行水平。

电机原理及其应用是电气工程类学科的基础，本书可用于电气工程及其自动化专业本科生的教材，为即将踏入电力行业门槛的同学们做好知识储备，也可作为注册电气工程师的考试教材用书，还可供相关领域的工程技术人员学习参考。因为针对人员广泛，本书编写思路和特点如下：

1. 本书在内容的选取、编排上进行了多方面的探索，更追求实用性和针对性，深入浅出、循序渐进、前后呼应地介绍了各个知识点，通俗易懂，十分适宜自学。书中内容与现场实际结合紧密，从实践中找出问题、解决问题，从而使枯燥的电机学理论学习不再枯燥无味，对提高大家的学习兴趣十分有利。

2. 因为电机原理及其应用的研究范围广、内容多，本书针对实际，精心组织，突出重点，减少章节层次，压缩全书篇幅，同时兼顾主要内容与次要内容，做到了主次分明。考虑到现场实际情况，全书用大量的篇幅介绍了变压器和交流电机，而对直流电机内容进行了简化。

3. 本书对电机领域的新技术和生产实践中热点难点问题给予适当的关注。作为教材，做到了丰富教材内容；作为参考用书，指导了问题的思考方向。如高次谐波问题和不对称问题。

4. 本书的每章小结画龙点睛，对知识点的掌握和提高起到了至关重要的作用，切实做到了针对性和实用性。本书大量使用了图片，不但简化了文字，还更加直观。

本书由郑新才、陈刚担任主编。各章节编写具体分工如下：郑新才编写绪论和第一篇变压器；张凯编写第二篇交流旋转电机的共同问题；

陈刚编写第三篇感应电机；刘勋编写第四篇同步电机；王丽君编写第五篇直流电机。全书由李晓东担任主审，对本书初稿作了仔细审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

本书得到了河南省电力公司商丘供电公司相关专业人员的大力支持和帮助，本书的编写参考了许多同行及前辈们的专著和教材，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

作者

2008年11日

目 录

前言

■ 绪 论 ■

第一章 概述	1
第一节 电机概况	1
第二节 电机的分析研究方法	4
第二章 电机的电磁基本理论	7
第一节 电路的基本概念	7
第二节 电磁场及电磁感应的基本概念	8
第三节 磁路的基本定律	14
第四节 常用的铁磁材料及其特性	17
第五节 直流磁路	23
第六节 交流磁路	27

■ 第一篇 变 压 器 ■

第三章 变压器的用途、分类与结构	28
第一节 变压器的用途与分类	28
第二节 变压器的基本结构	29
第三节 变压器的发热与冷却	36
第四节 变压器的额定数据	37
小结	38
第四章 变压器的运行原理	39
第一节 变压器的空载运行	39
第二节 变压器的负载运行	45
第三节 变压器的参数测定	50
第四节 标么值	52
第五节 变压器的运行特性	53
小结	56
第五章 三相变压器	58

第一节	三相变压器的磁路系统	58
第二节	三相变压器的电路系统	59
第三节	三相变压器空载电动势波形	62
小结		64
第六章	变压器的两种运行方式	65
第一节	变压器的并联运行	65
第二节	三相变压器的不对称运行	68
小结		75
第七章	特种变压器	77
第一节	三绕组变压器	77
第二节	自耦变压器	80
第三节	仪用互感器	84
第四节	电焊变压器	87
小结		88
第八章	变压器的过渡过程	89
第一节	过电流现象	89
第二节	过电压现象	94
小结		96

■ 第二篇 交流旋转电机的共同问题 ■

第九章	交流电机的绕组	97
第一节	交流电机的基本工作原理	97
第二节	交流绕组的基本要求和分类	98
第三节	槽电动势星形图和相带划分	101
第四节	三相双层绕组	103
第五节	三相单层绕组	106
小结		108
第十章	交流电机绕组的电动势	110
第一节	正弦分布磁场下交流绕组的感应电动势	110
第二节	非正弦分布磁场下电动势中的高次谐波及削弱方法	115
小结		121
第十一章	交流电机绕组的磁动势	123
第一节	单相绕组的脉振磁动势	123
第二节	三相绕组合成磁动势的基波	129
第三节	时间相量和空间矢量	131

第四节	椭圆形旋转磁动势·····	132
第五节	三相合成磁动势中的高次谐波·····	133
小结	·····	134
第十二章	电机的发热和冷却·····	136
第一节	旋转电机的损耗·····	136
第二节	电机的温升和温升限度·····	138
第三节	电机的发热和冷却·····	139
第四节	旋转电机的定额·····	142
第五节	电机的冷却方式及机壳的防护形式·····	143
小结	·····	146
 ■ 第三篇 感 应 电 机 ■ 		
第十三章	感应电机的运行状态和基本结构·····	147
第一节	感应电机的主要用途与分类·····	147
第二节	感应电机的主要结构·····	148
第三节	感应电机的运行状态·····	150
第四节	感应电动机的铭牌数据·····	151
小结	·····	153
第十四章	感应电机的运行原理·····	154
第一节	感应电机的磁路系统·····	154
第二节	转子静止时感应电机的运行·····	156
第三节	转子旋转时感应电机的运行·····	159
第四节	感应电机的数学模型·····	162
第五节	感应电动机参数的测定·····	167
第六节	笼型转子的极数、相数和参数的折算·····	170
小结	·····	172
第十五章	感应电动机的功率、转矩和运行特性·····	174
第一节	感应电动机的功率方程和转矩方程·····	174
第二节	感应电动机的机械特性·····	176
第三节	感应电动机的工作特性·····	183
小结	·····	186
第十六章	三相感应电动机的启动、制动与调速·····	188
第一节	三相感应电动机的直接启动·····	188
第二节	三相笼型感应电动机的降压启动·····	189
第三节	三相绕线式感应电动机的启动·····	193

第四节	深槽式和双笼型感应电动机	195
第五节	感应电动机的附加转矩及其对启动的影响	198
第六节	三相感应电动机的各种运行状态	202
第七节	感应电动机的调速	210
小结		224
第十七章	感应电动机运行方式和其他感应电动机	225
第一节	三相感应电动机在不对称电压下的运行	225
第二节	三相感应电动机在非正弦电压下的运行	228
第三节	单相感应电动机	229
第四节	感应发电机	233
第五节	直线感应电机	234
小结		235

■ 第四篇 同 步 电 机 ■

第十八章	同步电机的基本结构	236
第一节	同步电机的基本结构形式	236
第二节	隐极同步电机的基本结构	237
第三节	凸极同步电机的基本结构	240
第四节	同步电机的冷却方式	242
第五节	同步电机的运行状态	244
第六节	同步电机的励磁方式	244
第七节	同步电机的额定值	247
小结		247
第十九章	同步电机的运行原理	248
第一节	同步电机的基本原理	248
第二节	同步发电机的空载运行	249
第三节	电压波形正弦畸变和电话干扰	251
第四节	对称负载时的电枢反应	252
第五节	隐极同步发电机的电势方程式、同步电抗和矢量图	258
第六节	凸极同步发电机的双反应理论	262
第七节	凸极同步发电机的电势方程式、同步电抗和矢量图	264
小结		268
第二十章	同步发电机对称运行时的特性	270
第一节	同步发电机的空载、短路和负载特性	270
第二节	同步发电机的参数及测定	274
第三节	同步发电机的稳态运行特性	280

小结·····	283
第二十一章 同步发电机的并联运行 ·····	284
第一节 概述·····	284
第二节 并联合闸的条件与方法·····	285
第三节 同步发电机的功率和转矩方程式·····	289
第四节 与大电网并联时同步发电机的功角特性·····	290
第五节 同步发电机与大电网并联运行时有功功率的调节和静态稳定·····	293
第六节 并联运行时无功功率的调节——V形曲线·····	298
小结·····	300
第二十二章 同步电动机 ·····	301
第一节 概述·····	301
第二节 同步电动机的运行原理·····	301
第三节 同步电动机的启动·····	307
第四节 同步补偿机·····	310
小结·····	311
第二十三章 同步发电机的不对称运行 ·····	313
第一节 同步发电机不对称运行时的各相序阻抗和等效电路·····	313
第二节 三相同步发电机的不对称稳定短路·····	317
第三节 负序和零序参数的测定·····	321
第四节 不对称运行对电机的影响·····	322
小结·····	324
第二十四章 同步电机的突然短路 ·····	325
第一节 超导体闭合回路磁链守恒原理·····	325
第二节 对称突然短路的物理过程·····	326
第三节 瞬变电抗和超瞬变电抗及其测定方法·····	330
第四节 突然短路电流及其衰减时间常数的计算·····	334
第五节 不对称突然短路概念·····	338
第六节 突然短路对电机和电力系统的影响·····	339
小结·····	341

■ 第五篇 直 流 电 机 ■

第二十五章 直流电机的工作原理和基本结构 ·····	343
第一节 直流电机及其用途·····	343
第二节 直流电机的工作原理·····	344
第三节 直流电机的基本结构·····	346

第四节	励磁方式·····	349
第五节	直流电机的额定值与铭牌·····	349
小结	·····	350
第二十六章	直流电机的电枢绕组·····	351
第一节	电枢绕组的一般知识·····	351
第二节	单叠绕组·····	353
第三节	单波绕组·····	357
小结	·····	360
第二十七章	直流电机的磁场·····	362
第一节	直流电机的空载磁场·····	362
第二节	直流电机的电枢磁动势和磁场·····	364
第三节	直流电机的电枢反应·····	367
第四节	直流电机的感应电动势和电磁转矩·····	370
小结	·····	372
第二十八章	直流发电机·····	373
第一节	直流发电机的基本方程·····	373
第二节	他励发电机的运行特性·····	375
第三节	并励发电机的自励条件和外特性·····	377
第四节	复励发电机的特点·····	380
小结	·····	380
第二十九章	直流电动机·····	382
第一节	直流电动机的基本方程·····	382
第二节	直流电动机工作特性·····	383
第三节	直流电动机的机械特性·····	386
第四节	直流电动机的启动·····	387
第五节	直流电动机的调速·····	389
第六节	直流电动机的制动·····	390
小结	·····	391
第三十章	直流电机的换向·····	393
第一节	直流电机的换向过程·····	393
第二节	经典换向理论·····	394
第三节	产生火花的原因·····	399
第四节	改善换向的措施·····	400
第五节	环火及补偿绕组·····	403
小结	·····	404
参考文献	·····	406

第一章 概 述

第一节 电 机 概 况

一、电机的定义

广而言之，电机可泛指所有实施电能生产、传输、使用和电能特性变换的机械或装置。然而，由于生产、传输、使用电能和实施电能特性变换的方式很多，原理各异，如机械摩擦、电磁感应、光电效应、磁光效应、热电效应、压电效应、记忆效应、化学效应、电磁波等，内容广泛，不可能由一门课程包括，因此，作为电类相关学科，特别是电气工程学科的主要技术基础课，电机学的主要研究范畴仅限于那些依据电磁感应定律和电磁力定律实现机电能量转换和信号传递与转换的装置。依此定义，严格地说，这类装置的全称应该是电磁式电机，但习惯上已将之简称为电机。虽然含义上是狭义的，但就目前来说，绝大部分电机的工作原理都基于电磁感应定律和电磁力定律。其构造的一般原则是应用有效的导磁和导电材料构成能互相发生电磁感应的磁路和电路，以产生电磁功率和电磁转矩，实现能量形式的转换。因此，在理解上不会有歧义。

二、电机的主要类型

电机的种类很多，由此衍生的分类方法也很多，如图 1-1 所示。例如，按运动方式分，静止的有变压器，运动的有直线电机和旋转电机。鉴于直线电机较少应用，而电机学只侧重于旋转电机的研究，故上述分类结果可归纳为以下几种。

1. 按结构分类

电机又分为变压器、异步电机、同步电机和直流电机这 4 个机种。

(1) 变压器是静止的电气设备，其余均为旋转电机。

(2) 异步电机和同步电机均为交流电机。

以上分类方法从理论体系上讲是合理的，也是大部分电机类教材编写的基本构架。但从习惯角度，人们还普遍接受按功能分类的方法。

2. 按功能分类

(1) 发电机：由原动机拖动，将机械能转换为电能。

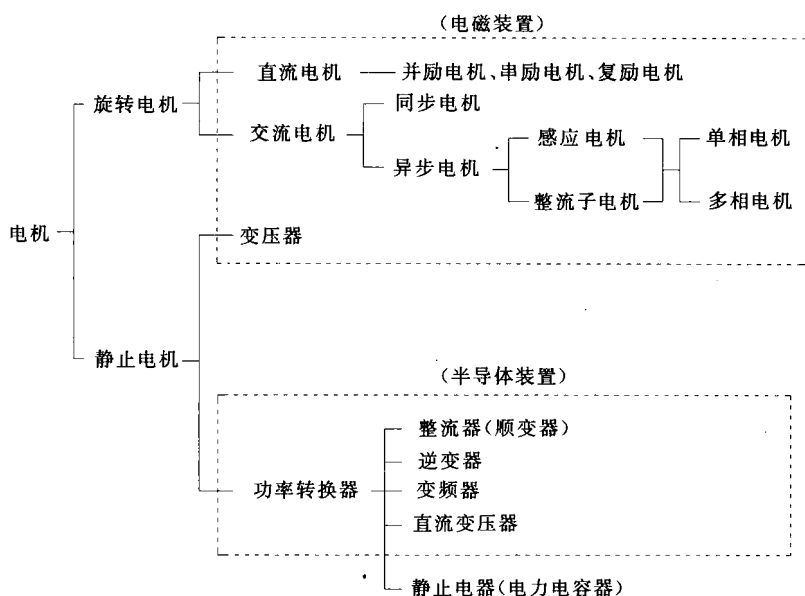


图 1-1 电机的分类

(2) 电动机：将电能转换为机械能，驱动电力机械。

(3) 变压器、变频器、变流器、移相器：改变电压、电流、频率和相位。

(4) 控制电机：进行信号的传递和转换，控制系统中的执行、检测或解算元件。

需要指出的是，发电机和电动机只是电机的两种运行形式，其本身是可逆的。也就是说，同一台电机，既可作发电机运行，也可作电动机运行，只是从设计要求和综合性能考虑，其技术性和经济性未必兼得罢了。

然而，无论是发电机运行，还是电动机运行，电机的基本任务都是实现机电能量转换，而前提也就是必须能够产生机械上的相对运动。对旋转电机，这在结构上就必然要求有一个静止部分和一个旋转部分，且二者之间还要有一个适当的间隙。在电机学中，静止部分被称为定子，旋转部分被称为转子，间隙被称为气隙。气隙中的磁场分布及其变化规律在能量转换过程中起决定性作用，这是电机研究的重点问题之一。

三、电机的制造材料

电机的技术经济指标在很大程度上与其制造材料有关。材料的改进使电机不但有较好的性能，而且有较小的尺寸。正确地选择磁性材料和绝缘材料，在设计和制造电机时极为重要。同时，在选择材料时，又必须保证电机的各部分都有足够的机械强度，即使在按技术条件所允许的不正常运行状态下，也能承受较大的电磁力而不致损坏。

一台电机所用的各种材料的功用，主要有下列 5 种：导电、导磁、绝缘、散热和机械支撑。

铜和铝是最常用的导电材料，电机中的绕组一般都用铜线绕成。电力工业上用的标准铜，在温度为 20°C 时的电阻率为 $17.24 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ ，即长度为 1m 、截面积为 1mm^2 的铜线，其电阻为 $17.24 \times 10^{-3} \Omega$ ，相对密度为 8.9，含纯铜量 99.9% 以上。电机绕组用的导

体是硬拉后再经过退火处理的。换向片的铜片则是硬拉或轧制的。铝的电阻率为 $28.2 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ ，相对密度为 2.7。作为导电金属，铝的重要性仅次于铜。铝线在输电线路上应用很广，但由于容积较大，在电机中尚不能普遍使用，而笼型异步电动机的转子绕组则常用铝浇铸而成。另外，黄铜、青铜和钢都可以作为集电环的材料。

碳也是应用于电机的一种导电材料。电刷可用碳—石墨、石墨或电化石墨制成。为了降低电刷与金属导体之间的接触电阻，某些电刷还要镀上一层厚度约为 0.05mm 的铜。电刷的接触电阻并不是常数，而是随着电流密度的增大而减小。每对电刷的接触电压降随着电刷的型号略有不同。

钢铁是良好的导磁材料。铸铁因导磁性能较差，应用较少，仅用于截面积较大，形状较复杂的结构部件。各种成分的铸钢的导磁性能较好，应用也较广。特性较好的铸钢为合金钢，如镍钢、镍铬钢，但价格较贵。整块的钢材，仅能用以传导不随时间变化的磁通，即恒定磁场。

如果所导磁通是交变的，为了减少铁心中的涡流损耗，导磁材料应当用薄钢片，称为电工钢片。电工钢片的成分中含有少量的硅，使它有较高的电阻，同时又有良好的磁性。因此，电工钢片又称为硅钢片。随着型号的不同，各种电工钢片的含硅量也不相同，最低的为 0.8%，最高的可达 4.8%，含硅量越高则电阻越大，但导磁性能略差。在近代的电机制造工业中，变压器的铁心越来越多地应用冷轧钢片，因为冷轧钢片有较小的铁损耗，且有较高的磁导率。

电工钢片的标准厚度为 0.35mm、0.5mm、1mm 等。变压器用较薄的钢片，旋转电机用较厚的钢片。高频电机需用更薄的钢片，其厚度可为 0.2mm、0.15mm、0.1mm。钢片与钢片之间常涂有一层很薄的绝缘漆。一叠钢片中铁的净长和包含有片间绝缘的叠片毛长之比称为叠片因数，对于表面涂有绝缘漆，厚度为 0.5mm 的硅钢片来说，叠片因数的数值为 0.93~0.95。

导体与导体间、导体和机壳或铁心间，都必须用绝缘材料隔开。绝缘材料的种类很多，可分为天然的和人工的、有机的和无机的，有时也用不同绝缘材料的组合。绝缘材料的寿命及其工作温度有很大关系。在热的作用下，随着时间的延长，绝缘材料会逐渐老化，也就是说，会逐渐丧失其机械强度和绝缘性能。为了保证电机能在一定的年限内可靠地运行，对绝缘材料都规定了极限允许温度。国家标准根据绝缘的耐热能力分为 7 个标准等级，如表 1-1 所列。

表 1-1 绝缘耐热能力的 7 个标准等级

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
极限允许温度 (°C)	90	105	120	130	155	180	180 以上

变压器油是一种特种矿物油，在变压器中它同时起绝缘和散热两种作用。

电机上有些结构部件是专为机械支撑用的，如机座、端盖、轴与轴承、螺杆、木块间隔等。在漏磁场附近，任何机械支撑，最好应用非磁性物质。例如，置于槽口的楔，中、小型电机用木材或竹片，大型电机用磷青铜等材料。定子绕组端部的箍环应当用黄铜或非磁性钢

制成。转子外围的绑线是采用非磁性钢丝。钢的成分中如含有 25% 镍或 12% 锰, 即可完全使其丧失磁性。总而言之, 制造电机所用的材料、种类极多, 上述仅是大概的情况。

四、电机的作用和地位

在自然界各种能源中, 电能具有大规模集中生产、远距离经济传输、智能化自动控制的突出特点, 它不但已成为人类生产和生活的主要能源, 而且对近代人类文明的产生和发展起到了重要的推动作用。与此相呼应, 作为电能生产、传输、使用和电能特性变换的核心装备, 电机在现代社会所有行业和部门中也占据着越来越重要的地位。

对电力工业本身来说, 电机就是发电厂和变电站的主要设备。首先, 火电厂(核电厂)利用汽轮发电机(水电厂利用水轮发电机)将机械能转换为电能, 然后电能经各级变电站利用变压器改变电压等级, 再进行传输和分配。此外, 发电厂的多种辅助设备, 如给水泵、鼓风机、调速器、传送带等, 也都需要电动机驱动。

在机器制造业和其他所有轻、重型制造业中, 电动机的应用也非常广泛。各类工作机械, 尤其是数控机床, 都须由一台或多台不同容量和形式的电动机来拖动和控制。各种专用机械, 如纺织机、造纸机、印刷机等也都需要电动机来驱动。一个现代化的大、中型企业, 通常要装备几千台乃至几万台不同类型的电动机。

在冶金工业中, 高炉、转炉和平炉都须由若干台电动机来控制, 大型轧钢机常由数千乃至数万千瓦的电动机拖动。近代冶金工业, 尤其是大型钢铁联合企业, 电气化和自动化程度非常高, 所用电机的数量和形式就更多了。

在石油和天然气的钻探及加压泵送过程中, 在煤炭的开采和输送过程中, 在化学提炼和加工设备中, 在电气化铁路和城市交通以及作为现代化高速交通工具之一的磁悬浮列车中, 在建筑、医药、粮食加工工业中, 在供水和排灌系统中; 在航空、航天领域, 在制导、跟踪、定位等自动控制系统以及脉冲大功率电磁发射技术等国防高科技领域, 在加速器等高能物理研究领域, 在伺服传动、机器人传动和自动化控制领域, 在电动工具、电动玩具、家用电器、办公自动化设备和计算机外部设备中等, 总之, 在一切工、农业生产、国防、文教、科技领域以及人们的日常生活中, 电机的应用越来越广泛。一个工业化国家的普通家庭, 家用电器中的电机总数在 50 台以上; 一部现代化的小轿车, 其内装备的各类微特电机已超过 60 台; 神舟七号飞船上也有 20 多万个各式电机, 来实现各种自动控制功能。事实上, 电机发展到今天, 早已成为提高生产效率和科技水平以及提高生活质量的主要载体之一。

纵观电机的发展, 其应用范围不断扩大, 使用要求不断提高, 结构类型不断增多, 理论研究不断深入。特别是近 30 年来, 伴随着电力电子技术和计算机技术的进步, 尤其是超导技术的重大突破和新原理、新结构、新材料、新工艺、新方法的不断推动, 电机发展更是呈现出勃勃生机, 其前景是不可限量的。

第二节 电机的分析研究方法

虽然电机的种类很多, 分析研究方法也各有特点, 但其基本步骤和基本方法有很多共同之处的, 尤其是旋转电机。下面综合介绍旋转电机的分析步骤和研究方法。

一、分析步骤

由于研究机电能量转换过程的关键在于分析耦合磁场对电气系统和机械系统的作用与反作用,因此,旋转电机的一般分析步骤如下。

(1) 进行电机内部物理情况的分析建立物理模型。这一步主要是分析空载和负载运行时电机内部的磁动势和磁场。

(2) 列出电机的运动方程。利用电磁感应定律和电磁力定律,即可求出各个绕组内的感应电动势和作用在转子上的电磁转矩;再利用基尔霍夫定律、全电流定律、牛顿定律和能量守恒原理,可列出各个绕组的电动势方程式以及电机的磁动势方程式、转矩方程式和功率方程式。这些方程统称为电机的运动方程。这一步的工作就是把物理模型变为数学模型。

电机的运动方程除了可用上述传统方法建立外,还可以用汉密尔顿原理通过变分法建立,或直接应用机电动力系统的拉格朗日—麦克斯韦方程列写。这方面的内容本书不作介绍,有兴趣者可参阅有关著作。

(3) 求出电机的运行特性和性能。列出运动方程后,求解这些方程,即可确定电机的运行特性和一些主要的技术数据。对于动力用电机,在稳态运行特性中,发电机以外特性最为重要,而电动机则以机械特性最为重要。发电机的外特性是指负载电流变化时,端电压的变化曲线;而电动机的机械特性是指电磁转矩变化时,转速的变化曲线。此外,电机的效率、功率因数、温升、过载能力等指标也很重要。暂态运行时,还要考虑电机的稳定性、暂态电流和暂态电磁转矩等。对于控制电机,则要考察其快速响应能力、精确度和控制性能等指标。

二、研究方法

在分析电机内部磁场并建立和求解电机运动方程时,常规方法如下。

(1) 不计磁路饱和时,用叠加原理分析电机内的各个磁场和气隙合成磁场以及与磁场一一对应的感应电动势。考虑饱和时,常把主磁通和漏磁通分开处理,主磁通用合成磁动势和主磁路的磁化曲线确定,漏磁通则以等效漏抗压降方式处理,在列写电动势平衡方程式时考虑。

(2) 在解决交流电机中由于定子、转子绕组匝数不等、相数不等、频率不等而引起的困难时,常采用参数和频率折算方法进行等效处理。

(3) 各种电机都有对应的等效电路分析模型,一般电机的稳态分析均可归结为等效电路的求解,交流电机还要应用相量图分析方法。

(4) 交流电机的不对称运行要运用双旋转(即正、负序)磁场理论和对称分量法。

(5) 在研究凸极电机时,常用双反应理论。

(6) 电机的动态分析用状态方程方法。为解决交流电机电感系数时变和转子结构不对称(凸极同步电机)所导致的分析困难,常采用坐标变换法进行化简。

近年来,由于计算机的发展与应用,电机的研究手段和方法得以改进,主要表现在以下两个方面。

(1) 从场的角度以微观方式研究电机。早期做法是以磁场的探讨为主,用有限差分或