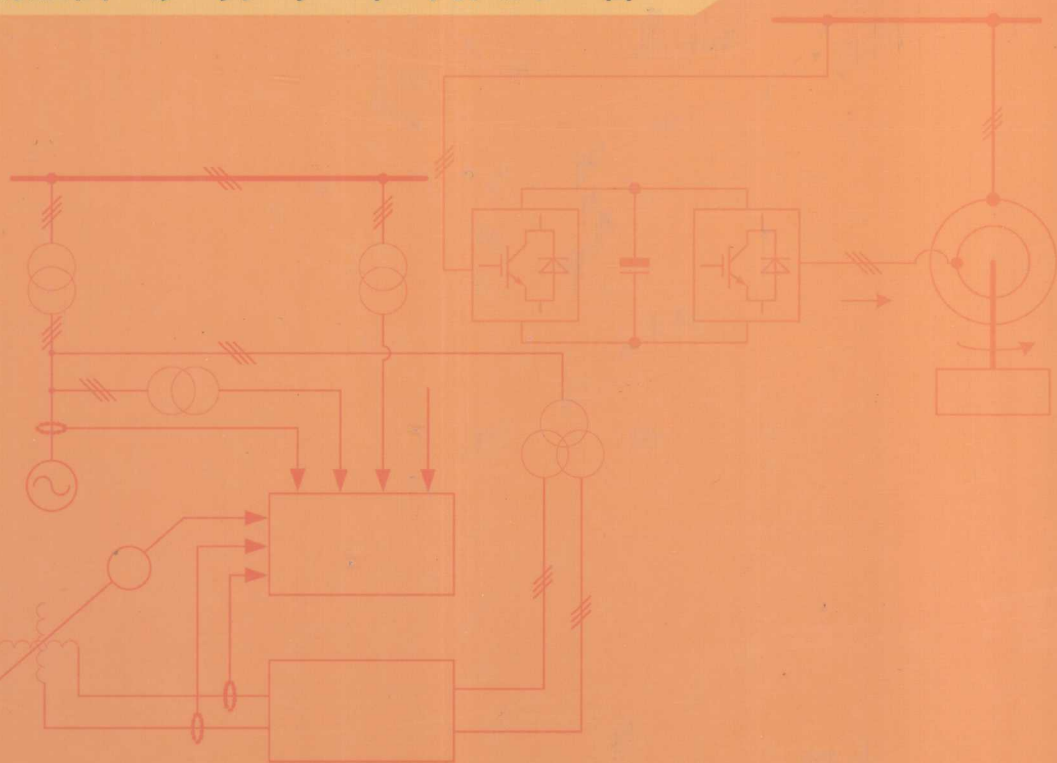
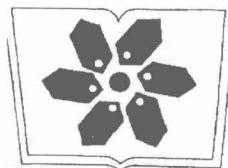


异步化同步 发电机

杨顺昌 廖 勇 李 辉 向大为◎著



科学出版社
www.sciencep.com



中国科学院科学出版基金资助出版

异步化同步发电机

杨顺昌 廖 勇 李 辉 向大为 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书分为上、下两篇,共11章.上篇:异步化汽轮发电机,共5章,主要讨论异步化汽轮发电机电气结构、数学模型、控制原理、运行特性、励磁系统故障后发电机运行行为、异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机并列运行及异步化汽轮发电机电磁设计特点;下篇:交流励磁发电机(即双馈感应发电机),共6章,主要讨论交流励磁发电机原理、数学模型、控制策略、运行特性、励磁电源及谐波分析、发电机电磁设计特点及其在水电站和风力发电系统中的应用.

本书可作为电气工程专业的研究生教材,亦可供电机设计、运行与控制、电力系统等方面的科研、工程技术人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

异步化同步发电机/杨顺昌,廖勇,李辉,向大为著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-024191-7

I. 异… II. ①杨… ②廖… ③李… ④向… III. 同步发电机 IV. TM341

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 029953 号

责任编辑:胡 凯 刘凤娟/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年3月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009年3月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—2 000 字数: 311 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换 科印)

前 言

现代电力工业的迅速发展提出了一系列新的科学技术问题,其中超高压远距离输电出现的持续工频过电压、全国电网互联后电网运行的稳定性、抽水蓄能电站的建设以及寻找提高风能利用及降低风力发电对电网冲击的新型风能发电技术等已成为世界各国所关注的重要问题.近几十年来,电气工程领域的科学技术工作者从不同的角度不断探索解决这些问题的方案,并取得了可喜的成果.这些成果有些已在电力系统中得到了实际的应用,使上述问题得到不同程度的解决,促进了科学技术的进步.然而直至今日上述问题仍是世界范围内电力工作者关注的重大课题.2003年8月14日北美地区的大面积停电,造成巨大的经济损失就是一个例证.

异步化同步发电机是一类转子励磁磁场相对转子本体位置可控的新型发电机,由于增加了励磁控制的自由度,使该类发电机在稳态运行时可实现有功、无功及转速(交流励磁时)的解耦控制、大量吸无功运行仍有良好的静态稳定性、变速恒频发电运行等一系列传统同步发电机不具有的特点,这些特点可成为解决前述电力系统问题的有效手段之一.自20世纪80年代末至今,重庆大学在国外研究的基础上,与前苏联全苏电科院、基辅工学院联合开展“异步化同步发电机及其应用”的研究.本书在前人研究成果的基础上,总结了我们近20年来所取得的研究成果,也是课题组科研实践的总结.

本书对异步化同步发电机原理、控制与设计作了全面、系统、深入的阐述与介绍,力求向读者展现该类发电机在电力系统中应用的生命力及广阔的前景.

本书分为上、下两篇.上篇:异步化汽轮发电机,共五章,由杨顺昌撰写,主要介绍异步化汽轮发电机电气结构、控制原理、运行特性、励磁系统故障后发电机运行行为、异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机并列运行及异步化汽轮发电机电磁设计特点.下篇:交流励磁发电机,共六章,由廖勇、李辉、向大为执笔,由杨顺昌定稿,主要介绍交流励磁发电机原理、数学模型、控制策略、运行特性、交流励磁电源的类型及谐波分析、发电机电磁设计及交流励磁发电机在水电站和风力发电系统中的应用研究.本书在写作过程中力求突出问题的物理本质和解决问题的方法,并做到深入浅出,以便于读者在掌握正确、清晰概念的基础上进一步发展.

本书所介绍的异步化同步发电机的各种运行特性都是由本课组的研究人员所编写的计算机软件完成的.同时编写了异步化汽轮发电机及交流励磁发电机电磁设计的计算机软件.这些软件所形成的软件包已为所研制的两套模拟试验样机证实是正确的,并为开发工程应用的异步化同步发电机奠定了基础.

在与本书内容相关的“异步化同步发电机及其应用”课题的阶段结题通信评审中,中国科学院周孝信院士、中国工程院郑健超院士、顾国彪院士、梁维燕院士、饶芳权院士、唐任远院士给予了热情的鼓励,他们都希望该类电机能早日投入我国电力系统运行,在此谨向他们表示衷心的感谢。

与本书内容相关的研究工作曾多次得到教育部博士点基金、重大攻关科技项目及长江学者配套青年教师基金的支持,近年来还得到国家 211 工程项目建设重点支持,也得到过一些大型企业的资助,在此一并表示感谢。

还要感谢所有参加本项目研究工作的研究生,感谢他们在完成学业的同时为本项目研究付出的辛勤劳动。

最后还要感谢中国科学院科学出版基金委员会对本书出版的积极支持。

异步化同步发电机在我国还未得到完全的实际应用,因此该课题的研究还远未结束。本书的内容仅反映了我们现阶段对该课题在理论分析、仿真计算及实验室研究等方面的一些心得体会,我们将继续努力开展该课题的研究,特别是要争取工程应用中试项目,不断丰富研究内容。希望有志于该项目研究的高等院校、科研单位、企业界联合起来,加快我国电力系统应用异步化同步发电机的步伐。

在本书的写作过程中,注意了内容体系的安排,力求文字叙述准确,概念清楚,但因无同类书籍可以借鉴,同时由于作者水平有限,错误难免,恳请读者批评和指正。

杨顺昌

2007 年 2 月

目 录

前言

绪论	1
0.1 现代电力系统发展的主要特点	1
0.1.1 电力系统稳定运行问题	1
0.1.2 电力系统持续工频过电压问题	1
0.1.3 风力发电技术	2
0.2 异步化电机	3
0.2.1 异步化电机发展简况	3
0.2.2 异步化电机研究现状	4
0.2.3 异步化电机的应用前景	4

上篇 异步化汽轮发电机

第 1 章 异步化汽轮发电机的数学模型及控制原理	7
1.1 异步化汽轮发电机的电气结构	7
1.1.1 异步化汽轮发电机电机本体的电气结构	7
1.1.2 励磁系统结构	7
1.2 异步化汽轮发电机数学模型	9
1.2.1 异步化汽轮发电机稳态等效电路及相量图	9
1.2.2 异步化汽轮发电机同步坐标轴系下的数学模型	10
1.3 异步化汽轮发电机控制原理	12
第 2 章 异步化汽轮发电机运行特性	14
2.1 异步化汽轮发电机双通道励磁控制	14
2.2 异步化汽轮发电机静态稳定性分析	15
2.2.1 异步化汽轮发电机小扰动方程	15
2.2.2 静稳定性分析	16
2.2.3 异步化汽轮发电机励磁控制反馈系数与静态稳定性	19
2.3 异步化汽轮发电机有功和无功(电压)调节特性	20
2.3.1 有功功率调节前后稳态运行的相量图	20
2.3.2 无功功率调节前后的相量图	21

2.3.3	有功、无功调节过程的仿真研究	22
2.3.4	无功调节的物理模拟实验	26
2.4	异步化汽轮发电机的暂态特性	29
2.4.1	暂态稳定性定性分析	29
2.4.2	仿真研究	30
2.5	异步化汽轮发电机定子端部发热的分析	33
2.5.1	异步化汽轮发电机端部磁通的相量分析	33
2.5.2	异步化汽轮发电机不同无功运行时端部合成磁通的确定	34
第 3 章	异步化汽轮发电机励磁系统故障的仿真分析	36
3.1	励磁系统局部故障下发电机的稳态调节特性	36
3.1.1	有功调节特性	36
3.1.2	无功调节特性	40
3.1.3	深度吸无功运行	44
3.2	励磁系统突然局部故障后发电机的过渡过程	47
3.2.1	发无功状态下的过渡过程	47
3.2.2	吸无功状态下的过渡过程	49
3.3	励磁系统局部故障下发电机的暂态特性	52
3.3.1	发无功状态下的暂态特性	52
3.3.2	发额定有功、吸无功状态下的暂态特性	53
3.3.3	发少量有功、吸无功状态下的暂态特性	57
3.3.4	加入快关气门控制后的暂态特性	57
3.4	励磁系统一相完全失磁	59
3.4.1	最大输出功率的计算	59
3.4.2	转入单轴运行的过渡过程	60
3.5	励磁系统两相完全失磁	62
3.5.1	最大输出有功的计算	62
3.5.2	转入异步运行的过渡过程	62
第 4 章	异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机并列运行	64
4.1	异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机并列运行时励磁的协调控制	64
4.1.1	异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机的基本差异	64
4.1.2	两种发电机并列运行的励磁控制配合	65
4.1.3	异步化汽轮发电机与同步汽轮发电机并列运行时无功运行方式选择	68
4.2	异步化汽轮发电机在电站的容量配置	71
第 5 章	异步化汽轮发电机电磁设计特点	77
5.1	异步化汽轮发电机 $S = 0$ 稳态运行时的相量图	77

5.2 异步化汽轮发电机气隙的选择	78
5.3 异步化汽轮发电机异步运行时转差率限值的确定	80
5.3.1 异步化汽轮发电机异步运行时的等效电路及方程组	80
5.3.2 异步运行时转差率限值的确定	81
5.4 异步化汽轮发电机转子绕组的设计	83
5.4.1 $\gamma=44/48$ 的转子两相励磁绕组排列	83
5.4.2 $\gamma=48/48$ 的转子两相励磁绕组排列	84
5.5 异步化汽轮发电机电磁计算中 γ 的处理	86

下篇 交流励磁发电机

第 6 章 交流励磁发电机原理	93
6.1 交流励磁发电机电气结构及运行原理	93
6.1.1 良好的稳定性及转速适应能力	93
6.1.2 独立的有功、无功调节能力	94
6.1.3 较强的进相运行能力	94
6.2 交流励磁发电机基本关系式	94
6.2.1 电压方程式、等效电路和相量图	94
6.2.2 通过气隙传递的电磁功率和无功功率	96
6.2.3 功率平衡关系	101
6.3 交流励磁发电机有功、无功调节的物理过程	104
6.3.1 有功调节	104
6.3.2 无功调节	105
第 7 章 交流励磁发电机系统数学模型及控制策略	107
7.1 交流励磁发电机的线性模型	107
7.2 交流励磁发电机的饱和模型	109
7.3 交流励磁发电机励磁控制策略	114
7.3.1 双通道多变量反馈励磁控制系统	114
7.3.2 矢量励磁控制系统	116
7.3.3 多标量励磁控制系统	117
7.3.4 动态同步轴系下的励磁控制模型	120
7.4 交流励磁发电机双通道励磁实验系统设计	123
7.4.1 励磁控制系统的硬件设计	123
7.4.2 励磁控制系统的软件设计	124
7.5 交流励磁发电机的开环静态稳定性分析	129
7.6 交流励磁发电机闭环特征根分析	131

第 8 章 交流励磁发电机的运行特性	136
8.1 交流励磁发电机的有功、无功和转速的调节特性	136
8.1.1 有功调节特性	136
8.1.2 无功调节特性	136
8.1.3 转速调节特性	136
8.1.4 不同反馈系数或运行条件对调节特性的影响	139
8.2 交流励磁发电机的暂态特性	142
8.2.1 交流励磁发电机暂态特性的仿真研究	143
8.2.2 励磁电压顶值与转子励磁频率对交流励磁发电机暂态稳定性的影响	144
第 9 章 交流励磁发电机的励磁电源及谐波分析	150
9.1 矩阵式变换器励磁的交流励磁发电机	150
9.1.1 矩阵式交-交变频器的结构	151
9.1.2 矩阵式交-交变频器的调制方法	152
9.1.3 矩阵式交-交变频器的换流控制	158
9.1.4 矩阵式交-交变频器的输入滤波器与保护电路设计	160
9.2 双 PWM 空间矢量控制的交流励磁发电机	163
9.2.1 双 PWM 控制交-直-交电压型变频器的基本工作原理	164
9.2.2 双 PWM 控制交-直-交电压型变频器的数学模型	165
9.2.3 整流桥功率因数校正环节的控制算法	171
9.2.4 双 PWM 变换器励磁的交流励磁电源系统的仿真	173
9.3 励磁电源管压降引起的谐波及其消除方法的研究	177
9.3.1 励磁电源管压降引起的谐波	178
9.3.2 励磁电源管压降所引起谐波的消除方法	180
第 10 章 交流励磁发电机电磁设计	184
10.1 交流励磁发电机的设计特点和设计程序	184
10.1.1 交流励磁发电机的运行方式	184
10.1.2 交流励磁发电机电磁设计特点	186
10.1.3 交流励磁发电机的电磁计算程序	189
10.2 考虑励磁电源谐波后的交流励磁发电机电磁功率的计算	194
10.2.1 谐波等效电路	194
10.2.2 谐波稳态电磁功率的计算	195
10.2.3 谐波脉动电磁功率的分析与计算	196
10.2.4 算例仿真分析	198
第 11 章 交流励磁发电机在水电站和风力发电系统中的仿真研究	200
11.1 交流励磁水轮发电机系统建模	200

11.1.1	交流励磁水轮发电机的负荷优化调节	200
11.1.2	交流励磁水轮发电机系统的数学模型	205
11.2	基于 CMAC 的交流励磁水轮发电机系统智能控制策略研究	212
11.2.1	CMAC 神经网络控制原理和设计	214
11.2.2	基于 CMAC 神经网络的自适应控制器设计	217
11.2.3	基于 CMAC 自适应控制策略的交流励磁水轮发电机系统运行性能的 仿真研究	220
11.3	交流励磁风力发电机系统建模及其运行性能仿真研究	233
11.3.1	风力发电机组的基本特性	233
11.3.2	交流励磁风力发电机励磁控制策略	236
11.3.3	交流励磁风力发电机系统的稳暂态特性的仿真研究	237
参考文献		240
附录 A 发电机及系统参数		247
A.1	发电机参数	247
A.2	输电线参数	247

绪 论

0.1 现代电力系统发展的主要特点

我国电力系统目前正处于重要的发展阶段,超高压、远距离的输电方式及电能的集中化生产已成为我国电力工业 21 世纪的主要发展趋势。

0.1.1 电力系统稳定运行问题

为实现我国 21 世纪国民经济和电力工业发展的目标,我国将实现全国电网互联作为跨世纪的宏伟工程。全国联网后,电网的覆盖面积大,联网初期网架结构薄弱,各种一次能源和负荷的分布极不均匀,而电源又远离负荷中心,单位装机容量分摊到的标准输电线长度比发达国家少得多,故电力系统的互联在带来明显经济效益的同时,也存在运行安全威胁,最大的威胁是运行稳定性的破坏。互联电网的稳定问题并不是小系统稳定问题的简单叠加^[1]。电力系统稳定按性质可分为:功角稳定、电压稳定和频率稳定,功角稳定又分暂态稳定和系统低频振荡,其中弱互联交流系统的低频振荡问题尤为突出。因此,对电力系统稳定运行而言,高效、稳定的远方大机组显得越来越重要。然而电能的集中化生产迫使发电机单机容量增加以提高经济效益,而发电机单机容量的增加,会使传统同步发电机的参数进一步恶化(同步电抗增大,惯性力矩减小),降低机组运行的稳定性。此外,在远距离输电线中运行的同步发电机必将工作在其电势与系统电压相量的夹角接近或超过 90° 电角度,从而降低了发电机及电力系统的稳定性。大电力系统要求发电机有高的运行稳定性,但是运行在大电力系统中的传统同步发电机却表现出相反的特性。尽管稳定性理论的定量分析是一个长期追求的目标,然而电力工作者必须面对当前和今后相当长一段时间内电力系统稳定问题并寻找出路,这也是为什么灵活交流输电(FACTS)技术、电力系统稳定器(PSS)等会成为当今电力系统稳定问题研究中的热门课题。

0.1.2 电力系统持续工频过电压问题

远距离输电、电网互联,必须提高输电线电压等级。随着国民经济的发展,大企业的用电对电网日负荷曲线影响极大,负荷的投、切将使电网日负荷曲线剧烈变化。当输电线传输功率低于自然功率时,线路将出现过剩的充电功率,因而引起电站和系统的持续工频过电压,危及电站和系统设备的安全运行,严重时致使发电机无法

并网, 电晕亦会引起有功损耗的增加, 降低电站和系统的效益. 这种持续工频过电压与输电线电压等级及输电距离密切相关, 一般而言, 输电距离越长、电压等级越高, 引起持续工频过电压越严重^[2]. 据我国有关部门资料称: 某 330kV 输电系统线路长 210km, 晚间系统电压超过 380kV, 切除一回线后电压仍高达 360kV; 某 500kV 输电系统, 线路长 342km, 晚间实测每 100km 有剩余无功 110Mvar, 虽在线路两端安装了进口的无功补偿装置, 但由于补偿容量不够仍出现过电压^[3]. 解决持续工频过电压最经济的方法是同步发电机进相运行, 但这种方法除降低了发电机稳定性外, 定子端部铁心的温升也是发电机进相 (即吸无功) 能力的制约条件. 此外, 加装并联电抗器、静止无功补偿器等也是目前常采用的措施, 这不仅增加了投资, 且尚有一些技术问题需要进一步解决. 国家已决定, 在西北 330kV 电压之上建设 750kV 电网, 预计到 2020 年将在西北建成 750kV 电网的主干网架, 建成 750kV 输电线路 3000~5500km, 变电容量 2000 万 kVA. 持续工频过电压是一个值得非常关注的问题.

0.1.3 风力发电技术

我国的能源形势十分严峻. 人均能源不足, 人均能耗低而单位产值能耗高是一个突出的问题. 我国煤的探明储量为世界人均值的 51.3%, 石油仅为 11.3%, 天然气只有 3.78%. 人均商品能源消费量为世界人均值的 55%, 为发达国家人均值的 17%, 家庭人均用电量只有美国的 2.4%. 单位国民生产总值能耗高于发达国家和发展中国家的平均值. 寻求新能源及开发新能源发电技术, 不仅是我国, 也是全人类 21 世纪重大的课题. 新能源是一个十分广阔的领域^[1].

风能是一种最具开发应用的可再生能源, 20 世纪 70 年代后美国, 北欧等技术发达国家就投入了很大的力量开发风力发电技术, 目前已取得了令人可喜的成果, 并在传统的一次能源发电中占有一定的比例. 我国已在“九五”、“十五”计划中作了规划, “十五”期间兆瓦级风能发电机组国产化及扩大风力发电示范工程是我国新能源发电的重点. 目前已在新疆、内蒙、浙江及南澳岛建立了一批风电场, 为我国风能发电起到了良好的示范作用.

风力发电可采用的发电机有多种类型, 目前在世界范围内采用较为普遍的是笼型感应发电机并网发电, 容量从几十千瓦到几兆瓦. 笼型感应发电机用于风力发电最大的优点是电机结构简单, 发电机维护工作量小. 最大的缺点是低速风能利用率低, 当风速降低时, 笼型感应发电机必须从电网解列, 到风速升到某一速度时, 再将发电机并入电网, 频繁的解列, 并列将对电网造成冲击, 即使采用多速感应发电机, 对电网的冲击仍不可避免. 为提高低速风能的利用及减少对电网的冲击, 风力机必须采用变桨距和机组移位 (指水平轴风力机), 以获得低风速下风力机良好的功率输出特性, 满足感应发电机在低风速下仍能在电机的超同步速以上发电运行, 这不

仅增加了风力机设计、制造的难度,同时也增加了风力机控制系统的复杂程度.在欧洲也有在电网与感应发电机间安装变频器,实现变速恒频发电的实用方案,但该方案增加了系统的成本和复杂程度.

目前世界风力发电系统的主流趋势是采用双馈发电机,实现发电系统的变速恒频运行,一方面大大提高低速风能的利用,减少对电网的冲击,同时可简化风力机的设计、制造与控制的复杂程度.此外,取消齿轮变速机构的直驱永磁同步发电机风力发电系统的研制也受到了广泛的关注.

0.2 异步化电机

前苏联称的异步化电机 (Asynchronized Machine, ASM) 与北美、欧洲称的双馈电机 (Doubly-Fed Machine, DFM) 及日本称的交流励磁电机 (Alternating Current Excitation Machine, ACEM) 无本质的差别,这些称谓只是从电机某方面的特征给这类电机不同的命名.这类电机的共同特点是定子具有三相对称绕组,转子隐极安装了两相或三相对称绕组,经相应相数的变频电源供给转子励磁,虽然该类电机电气结构上类似于绕线式异步电机,但从内部的电磁关系看,是同一类特殊的同步电机.当然对于不同用途的该类电机有不同的设计与控制理念.

0.2.1 异步化电机发展简况

异步化发电机是在研究双轴励磁同步发电机的基础上发展起来的.1935年德国工程师 E.Tuxen 实验研究了双轴励磁同步发电机.1962年土耳其学者 Hamdi-Sepenc 在国际大电网会议上发表题为“提高交流输电系统暂态稳定极限的方法”.此后, Kappoor S C, Sen Gupta D P, Aggarwal R K, Danials A R 等先后对稳定性、阻尼特性和励磁控制进行了大量的研究.这些研究工作主要集中于双轴励磁发电机在暂态过程中 q 轴励磁绕组投入后发电机的暂态稳定性.在稳态运行下只有 d 轴绕组励磁,与传统同步发电机相同,暂态过程中 q 轴励磁绕组投入运行,通过 d 轴励磁调电压、 q 轴励磁调角度的功能分离式控制,提高发电机和电力系统的暂态稳定极限^[4,5].对于 q 轴绕组长期工作的双轴励磁发电机,无论采用何种控制方法,都无法保证发电机电势波形的畸变率满足要求,也无法使发电机转子表面热负荷均匀.因而直至今日在世界范围内未见该类双轴励磁发电机实际应用的报道.

前苏联学者对异步化发电机的研究是在 Ю.г. Щакармян 等的领导下,从 1955 年开始,由全苏电科院联合一些研究所及高等院校、电机制造厂等单位,对双轴励磁电机进行深入研究的基础上建立了异步化发电机的基本理论.这种电机的运行与(异步化)控制原理、(双通道)励磁控制策略、电机的电气结构等方面与 E.Tuxen 和 Hamdi-Sepenc C 等的双轴励磁发电机有着本质上的不同,并解决了电机本体的

设计与制造问题,使异步化电机得到了成功的应用。

0.2.2 异步化电机研究现状

20 世纪 60 年代,前苏联研制了两台 50MVA 异步化水轮发电机安装在依奥夫斯克水电站并投入电网正式运行,其中一台于 1972 年进行了变速恒频发电工业试运行,1977 年第二台也实现了变速恒频发电,两台水轮发电机在电站实现了同频异步并列运行,且成功地实现了输出无功和大量吸入无功的稳定运行。200MW 异步化汽轮发电机试验样机由哈尔科夫重型电机厂、全苏电科院、乌克兰 SSR 科学院研制成功,并于 1985 年在 LVOV 能源管理局的布尔斯汀电站投入运行,同期 400kW 异步化潮汐发电机也投入了工业运行。20 世纪 90 年代前苏联已开始非正交两相励磁绕组的 800MW 异步化汽轮发电机的研制工作。

从 20 世纪 80 年代开始,日本日立、东芝公司开始研制转子对称三相励磁绕组的交流励磁电机。1987 年初日立公司研制了 22MVA 的交流励磁电动机——发电机,于同年 4 月投入商业运行。1990 年东芝公司研制了容量为 85MVA 的抽水蓄能机组在 Yagisawa 电站投入运行。1993 年日立公司研制的 395MVA 抽水蓄能机组在 Ohkawachi 电站投入运行 [6]。

与此同时,西欧、北美一些国家的学者在 IEE 和 IEEE 等杂志上发表了大量研究双馈电机及其控制的文章,近年来,兆瓦级双馈感应发电机和大容量抽水蓄能机组已得到了成功的应用。国内该领域研究起步较晚,20 世纪 90 年代初一些高等院校及研究单位对该类电机及其控制进行了研究,发表了一批研究文章及建立了小型的实验室试验装置,但至今还未建成商业运行电站。

0.2.3 异步化电机的应用前景

现有的理论研究成果及国外应用的实践表明:异步化发电机由于与传统的发电机有不同的转子绕组、励磁结构及不同的励磁控制策略,使其具有传统同步发电机无法相比的优点:有功、无功及转速(在交流励磁时)可以独立调节;大量吸无功运行时电机不会失去稳定;可实现变速恒频发电。因此该类电机对水电站前期发电(无需更换水轮机转轮)、水电站调峰运行、变速抽水蓄能站、风力发电系统、潮汐发电等有很重要的应用价值。其转速与电网频率的解耦特性,对提高电机与电力系统的稳定性有极重要的意义。异步化发电机大量吸无功而不失去稳定,是电站和电力系统抑制持续工频过电压的重要手段,有重要的技术经济价值。此外,交流励磁的异步化电动机用于交流传动系统,比传统的感应电动机变频调速系统有更良好的技术性能指标。因此,可以预料异步化电机在我国的电力工业及交流电气传动系统中有着极为广阔的应用前景。

上篇 异步化汽轮发电机

第1章 异步化汽轮发电机的数学模型及控制原理

异步化汽轮发电机与传统的汽轮发电机在转子励磁绕组结构和励磁控制原理方面存在较大的差别, 这些差别使异步汽轮发电机有优于传统汽轮发电机的运行特性。

本章主要介绍异步化汽轮发电机转子励磁绕组电气结构及相应的多相励磁系统结构、自动励磁调节器的组成; 异步化汽轮发电机在同步坐标系下的数学模型及异步化控制原理。

本章的目的是对异步化汽轮发电机作一个总体的介绍, 并为以后的分析奠定必要的基础。

1.1 异步化汽轮发电机的电气结构

1.1.1 异步化汽轮发电机电机本体的电气结构

异步化汽轮发电机与传统的同步汽轮发电机一样由交流电机本体、励磁系统及励磁调节器组成。异步化汽轮发电机的定子三相绕组与传统的交流发电机相同, 由对称三相绕组构成, 异步化汽轮发电机与传统交流发电机本体电气结构的差异在于其转子有不少于两个励磁绕组, 按转子励磁绕组轴线间的夹角不同, 可分为以下两类:

1) 转子对称两相励磁绕组, 绕组轴线在转子表面上呈 90° 机械角度, 轴上安放有 4 个滑环用以引入转子对称两相励磁绕组的励磁电流, 两相励磁绕组由两台可逆可控硅装置供电。这种转子绕组分布的异步化汽轮发电机可长期以同步转速稳定运行, 从原理上讲, 也可带一定的滑差长期稳定运行。1985 年前苏联投运的 200MW 异步化汽轮发电机就采用这种转子绕组结构。

2) 转子采用轴线在转子表面呈 60° 机械角度的匝数相等的两相绕组, 采用这种转子绕组结构的目的是为了在更大容量 (如 800MW) 异步化汽轮发电机设计时, 提高相同安匝下的转子有效励磁磁势。通常这种结构的异步化汽轮发电机只能在同步转速下运行, 且降低了发电机运行的灵活性。

1.1.2 励磁系统结构

1. 励磁主回路^[7]

正交两相励磁绕组的励磁主回路如图 1.1 所示。