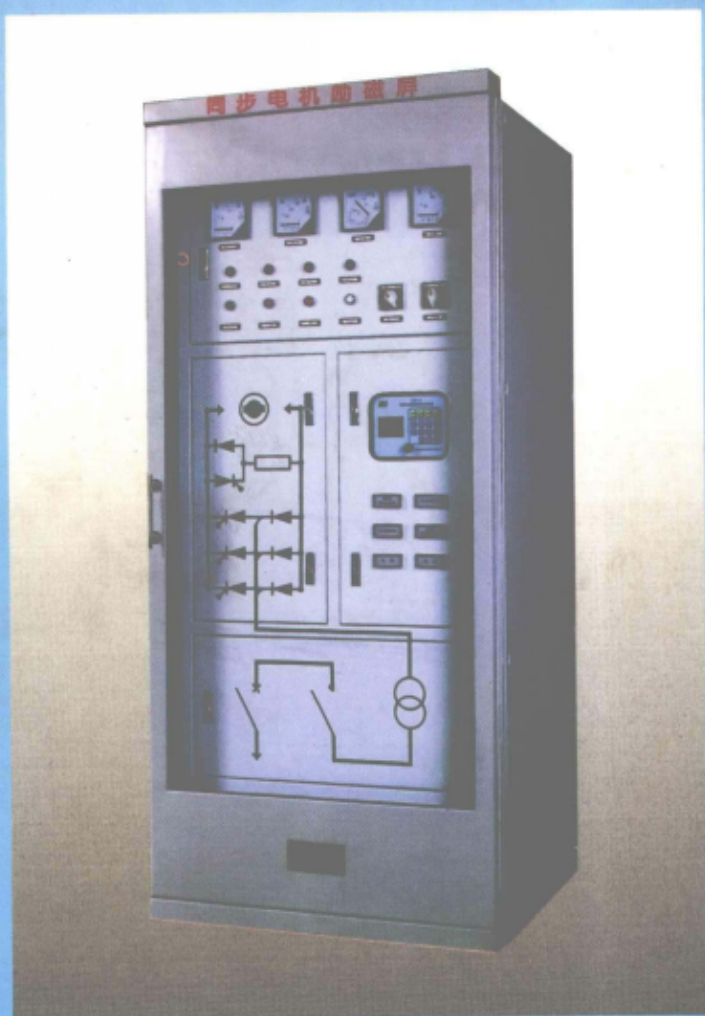


同步电动机励磁装置 应用技术

主编 杜治潮 副主编 薛黎明 雍家树
主审 沈日迈 副主审 钱忠南 杨有铭



东南大学出版社

责任编辑 张 克



ISBN 7-81050-709-5



9 787810 507097 >

ISBN 7-81050-709-5
TM · 9 定价: 30.00元

同步电动机励磁装置应用技术

主 编 杜治潮

副主编 薛黎明 雍家树

主 审 沈日迈

副主审 钱忠南 杨有铭

东南大学出版社

内 容 提 要

本书分 10 章介绍同步电动机励磁装置的应用技术。它紧密联系微机保护、优化调度、PLC、上位 PC 机监控和网络管理,把概念、原理、公式、基础知识、专业知识与技能和现场操作运行有机结合起来,对 7 种典型励磁装置的性能、特点进行分析、比较,并以 KGLF-10 系列为例对励磁装置的调试方法、故障现象、产生的原因进行分析,较为详尽地提供了故障处理的方法。本书立足泵站,面向工矿企业同步电动机励磁系统,对工程技术人员有一定的实用价值,适于作专业技术培训教材和有关工程技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

同步电动机励磁装置应用技术/杜治潮主编. —南京:
东南大学出版社, 2000. 10

ISBN 7-81050-709-5

I. 同... II. 杜... III. 同步电动机-励磁系统
IV. TM341

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 52351 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 武进第三印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.75 字数:456 千字

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

本书根据大型同步电动机启动、运行中的电机及励磁故障现象,介绍了同步电动机的原理、性能、特点及与其配套的励磁装置。这种机电一体化的技术把机械、电力电子、计算机网络和自动控制技术紧密地结合起来,从系统工程的观点出发,使产品研制、应用维护、教学科研实现整体的优化组合。

本书内容新颖、份量适中、浓缩精华、跟踪时代、全面系统,并以同步电动机为基础,泵站优化运行为核心,突出励磁。

1) 从应用角度出发,理论联系实际,系统地介绍了从励磁机到微机型晶闸管励磁装置7种典型电路,历史地、全面地分析励磁装置的变革与技术进步。实践证明:电力电子技术的应用,科学技术的发展,对于改变社会的生产面貌,推动人类文明的向前发展,具有极其重要的意义。

2) 以各种器件为龙头,分类、分性能逐个分析,对整机电路设计、制作工艺、安装调试进行全面讨论,例举故障,及时、准确对症处理,确保机组安全运行。

3) 高新技术的发展,促进生产力进步。单板机、单片机智能型控制技术,10年前就在同步电机励磁应用中崛起,在发电机励磁中运用较多,而电动机微机型励磁却很少。但近几年来它的发展很快,并伴随着与微机继电保护、PLC技术、智能仪表有机地结合应用,实现了数字化、分层分布式通信、网络监控和信息资源共享。

4) 节能增效。以大型泵站同步电动机为例,其恒功率因数运行,针对长江潮汐河流特点,实现软件模型优化调度在线运行,耗电少、抽水多、适应高效低耗。该优化调度的创新意识也适用于鼓风机、球磨机、压缩机、轧钢机等大型同步电动机的励磁自控系统。

5) 本书由励磁用户、励磁研制厂、大专院校及科研单位专家、教授和工程技术人员携手编写而成。第1章由钱中南、程志民、杜治潮编写;第2章由杨有铭、焦文斌编写;第3章由仇天林、钱东辉编写;第4章由马晓忠、秦炳熙编写;第5章由雍成林、杜治潮编写;第6章由杜治潮、沈昌荣编写;第7章由薛黎明、周彬、吴红清编写;第8章由朱福保、冷其江、杜治潮、刘庆龙编写;第9章由陆一忠、陈学富、陈守伦、孙京忠、丁强、孙汉明、张顺林、袁长治、沈昌荣、薛明岐、严光华、刘庆龙编写;第10章由沈昌荣、郭平编写。各章节有机结合,博采众长,全书由

杜治潮和薛黎明负责统稿。书名由史建华题写,封面由沈宏平、黄耀德策划。摄影:刘绵喜。

6) 本书集教材与资料于一体,立足泵站,面向工矿企业同步电动机励磁系统,适于选作专业技术培训教材和有关技术人员参阅。

7) 本书符号涉及电机、电力电子、励磁装置原理图,有些图纸资料应用时间较长,新老符号可能有混用之处,读者可参照原装置图纸。

8) 本书在编写过程中得到江苏省水利厅、江苏省江都水利工程管理处、苏州市友明科技有限公司、扬州市电工技术学会、河海大学、扬州大学、水利部南京水利水文自动化研究所、江都水利枢纽工程科学研究所、江都水利枢纽工程电力试验室、江阴市长江斯菲尔电力仪表有限公司、湖北省水利厅农水处冯贤华、吴遵雄、安徽省凤凰颈排灌站管理处罗仕宏、山东省引黄济青胶州管理处于军等单位和领导的大力支持,在此一并感谢。

9) 书中的插图由李桂、阚永庚、孙振华、金超、沈昌荣、郭平、华骏、吕建平、陈靳、陆明浩、刘明、朱建军、张斌、沙新建、张继洁、钱利华、万继芳、腾海波、夏炎用 Auto CAD R14 绘制,并协助做了大量的工作,特向他们表示感谢。

10) 由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有错误和不足,敬请同行专家、广大读者批评指正。

编 者

2000 年 10 月

目 录

1 大型泵站同步电动机组运行故障分析与处理

1.1 大型排灌站同步电动机的应用特点	1
1.1.1 异步电动机向电网吸取大量无功功率,造成“电压崩溃”	1
1.1.2 同步电动机向电网输送无功功率,有利安全供电	1
1.1.3 同步电动机接入电网空载调相运行,专发无功功率	1
1.1.4 微机控制型晶闸管励磁恒功率因数运行,节能增效	2
1.2 同步电动机工作的基本原理分析	2
1.2.1 异步电动机的基本工作原理	2
1.2.2 同步电动机的工作原理	2
1.3 同步电动机的特殊运行工况	4
1.3.1 异步启动	4
1.3.2 投入励磁	4
1.3.3 强行励磁	4
1.3.4 电网停电,水泵机组反转,恢复供电,再整步恢复同步	5
1.4 水泵同步电动机的电磁力矩	5
1.4.1 同步力矩	5
1.4.2 异步力矩	5
1.4.3 单轴联接力矩	6
1.4.4 磁阻反应力矩	7
1.5 大型同步电动机的故障现象	8
1.6 水泵同步电动机的启动故障	9
1.6.1 在启动过程中,常见的故障有开关跳闸	9
1.6.2 机组爬行	10
1.6.3 机组振荡	11
1.7 水泵同步电动机启动电压降验算	11
1.8 水泵同步电动机调相运行校核	12
1.9 同步电动机的非同期运行故障分析	14
1.9.1 带励磁失步	14
1.9.2 停电失步	15
1.9.3 异步运行	17
1.10 自动化保护装置误动及拒动的原因	17
1.10.1 定时限 DL 型过电流保护	18
1.10.2 备用电源自动投入装置(BZT)	18
1.10.3 供电电源自动重合闸装置(ZCH)	18

1.11 实现再同步的合理途径	19
1.11.1 确保安全供电,力图使电机安全运行	19
1.11.2 实现再同步的条件	20
1.11.3 微电脑检测失步信号,准确可靠	22
1.11.4 失步后带载再整步过程	22
1.12 水泵同步电动机保护的改进意见	22
1.12.1 用相位差、低周波、逆功率继电器实现自动灭磁再整步	23
1.12.2 励磁保护、微机继电保护及 PLC 程控准确可靠	23
思考题一	24
 2 模拟电子电路	
2.1 半导体二极管的特性	26
2.1.1 半导体二极管的表示方法	26
2.1.2 二极管的伏安特性曲线	26
2.1.3 二极管的主要参数	27
2.1.4 稳压二极管	28
2.2 半导体三极管的特性	29
2.2.1 三极管的输入特性曲线	30
2.2.2 三极管的输出特性曲线	32
2.2.3 晶体管的主要参数	34
2.2.4 H 参数等效电路	36
2.3 放大器	38
2.3.1 放大器的定义和分类	38
2.3.2 小信号交流放大器	39
2.3.3 差动放大器	42
2.3.4 运算放大器	44
2.4 场效应晶体管的工作原理	46
2.4.1 结型场效应管	46
2.4.2 绝缘栅场效应管	47
2.5 整流与稳压电路	48
2.5.1 单相整流电路	49
2.5.2 三相整流电流	53
2.5.3 滤波电路	56
2.5.4 稳压电路	58
思考题二	63
 3 脉冲与数字电路	
3.1 脉冲和脉冲信号	65
3.1.1 脉冲信号波形的主要参数	65

3.1.2 波形整形、变换电路	66
3.1.3 限幅电路	67
3.1.4 箝位电路	68
3.2 数字电路与门电路	69
3.2.1 基本门电路	70
3.2.2 布尔代数与卡诺图	72
3.3 逻辑电路及 STD 总线集成电路	73
思考题三	77

4 单片机简介

4.1 单片机的特点及发展概况	78
4.1.1 单片机及其特点	78
4.1.2 单片机的应用	79
4.1.3 单片机的发展概况	79
4.1.4 单片机的基本组成	81
4.2 常用单片机系列介绍	81
4.3 MCS-51 单片机结构及原理	83
4.3.1 MCS-51 单片机内部结构	83
4.3.2 MCS-51 引脚及功能	86
4.3.3 MCS-51 的存储器结构	87
4.3.4 输入/输出端口结构	91
思考题四	100

5 晶闸管变流技术

5.1 电力电子技术发展、应用概况	101
5.1.1 传统电力电子技术	101
5.1.2 现代电力电子技术	101
5.1.3 电力电子器件的分类	102
5.1.4 电力电子变流技术	105
5.2 晶闸管	105
5.2.1 晶闸管的可控单向导电性	105
5.2.2 晶闸管的特性	108
5.2.3 晶闸管的主要参数	111
5.3 晶闸管可控整流电路	115
5.3.1 晶闸管单相可控整流电路	115
5.3.2 晶闸管三相全控整流电路	119
5.3.3 负载类型对晶闸管整流的影响	124
5.3.4 晶闸管的触发电路	125
5.3.5 集成电路触发器	132

5.3.6 触发脉冲与主电路电压的同步(定相)	134
5.4 晶闸管的保护措施和参数选择	137
5.4.1 晶闸管的过电流保护与电流上升率的限制	137
5.4.2 晶闸管的过压保护与电压上升率的限制	141
5.5 整流变压器参数计算	149
5.5.1 变压器次级相电压 U_{v2}	149
5.5.2 初次级电流与容量	150
5.6 晶闸管电压电流的计算与选择	152
思考题五	155

6 非微机控制型励磁装置

6.1 直流励磁机励磁	156
6.1.1 非固接励磁	156
6.1.2 励磁系统接线及工作原理	158
6.2 硅整流励磁装置	158
6.2.1 硅整流装置的主电路	159
6.2.2 硅整流励磁装置的控制回路	159
6.2.3 静态调试与启动运行操作	159
6.3 KLF-300/75 型同步电动机励磁装置	161
6.3.1 装置特点	161
6.3.2 励磁装置的组成环节及原理	161
6.4 TLG-2A 型晶闸管励磁装置	165
6.4.1 移相触发电路	165
6.4.2 灭磁单元	167
6.4.3 自动投励	168
6.5 KGLF-10 系列晶闸管励磁装置	169
6.5.1 装置用途、型号命名	170
6.5.2 主要性能特点	170
6.5.3 励磁主回路工作原理	171
6.5.4 励磁主回路计算方法	176
6.5.5 触发装置及灭磁环节的工作原理	180
6.5.6 附加脉冲与三相全控桥“逆变”环节	185
6.5.7 无功补偿插件(KGLF-12 型装置用)	186
6.5.8 投励全压插件	187
6.6 BL-1A 型同步电动机晶闸管励磁装置	189
6.6.1 同步电动机异步启动	189
6.6.2 同步电动机同步运行与停机	190
6.6.3 电流调节器 LT	191
6.6.4 触发脉冲 CF	192

6.6.5 触发装置输入及保护单元 CSR	193
6.6.6 投励单元 TL	194
6.6.7 开关触发 KC	195
6.6.8 系统工作原理	196
思考题六	197
7 微机控制型晶闸管励磁装置	
7.1 电动机运行中存在的问题	198
7.2 新颖的微机励磁技术(LZK-3 型)	200
思考题七	217
8 励磁装置的调试、维修、故障分析处理及更新改造	
8.1 续流、颠覆、逆变和熄灭线	218
8.1.1 续流	218
8.1.2 颠覆	218
8.1.3 逆变	220
8.1.4 熄灭线	223
8.2 励磁装置的调试、参数整定	224
8.2.1 调试	224
8.2.2 参数整定	225
8.3 维修、改进及故障分析处理	233
8.3.1 主回路和灭磁电路	233
8.3.2 控制回路	235
8.3.3 同步电动机转子接地	237
8.3.4 KGLF-10 系列故障分析处理 32 例	239
8.4 仪器、仪表与检修技巧	245
8.5 更新改造,推动科技进步	246
8.5.1 江都水利枢纽工程效益及几次励磁装置更新改造	246
8.5.2 励磁装置更新改造推动科技进步	248
思考题八	249
9 微机励磁、保护、智能仪表、监控、优化调度与网络管理	
9.1 优化调度	250
9.1.1 概述	250
9.1.2 基本数据	251
9.1.3 优化调度模型	254
9.1.4 软件概述	256
9.1.5 计算结果参阅	258
9.1.6 预期效益	260

9.2 微机自动监控系统之一	261
9.2.1 系统结构	261
9.2.2 系统设计功能	263
9.2.3 控制方法	264
9.2.4 联锁与保护	265
9.2.5 本系统方案的主要特点	265
9.3 微机自动监控系统之二	266
9.3.1 该监控技术有着先进的系统功能	266
9.3.2 现场改造及鉴定	266
9.4 网络化管理	268
9.4.1 网络的组成	268
9.4.2 网络化管理	268
9.5 微机继电保护	271
9.5.1 微机保护在泵站自动化应用中的特点与功能	271
9.5.2 微机失磁保护、失步保护与励磁装置自设保护相配合	272
9.5.3 微机保护与上位机的通信及信号记忆查询	273
9.6 CD19 系列三相变送数显智能表在泵站的应用	274
9.6.1 概述	274
9.6.2 测量和计算方法	275
9.6.3 实现的方法	276
9.6.4 主要技术指标	277
思考题九	277
 10 实验与报告	
10.1 晶体管	279
10.2 可控整流电路	283
10.3 “与非”门逻辑电路测试	286
10.4 MCS-51 并行 I/O 接口设计与应用	287
 参考文献	289

1 大型泵站同步电动机运行故障分析与处理

1.1 大型排灌站同步电动机的应用特点

同步电动机比异步电动机有显著特点,主要是功率因数高(可以达到 $\cos\varphi = 1$),运行在过励状态时,可以使功率因数超前,向电网输送无功功率,从而提高了电网的功率因数,恒功率因数闭环运行;利用现代微电脑技术,满足各种工况需要,确保功率因数恒定,减少电网有功功率的损耗,提高经济效益。

1.1.1 异步电动机向电网吸取大量无功功率,造成“电压崩溃”

在我国,一直到20世纪50年代末期,水泵电机基本上都采用三相交流感应电动机。它的优点是构造简单、运行可靠、价格低廉,对操作工人的技术水平要求不高;但是到了60年代初,开始是苏北电网,以后是华东电网以及全国各大电网,都发生了电网由于大量无功功率不足而产生的电压水平大幅度下降。电灯亮度不够、电机发热烧毁,不少工厂为保证生产需要换用大容量电动机,结果使用户向电网取用更多的无功功率,电网电压更进一步下降,当大容量电机启动时,不但启动的机组不能启动,而且正在运行的电机电流也迅速上升,大片地区用户的电压在几秒钟之内迅速下降到65%以下,造成电机因转矩大幅下降而停转,开关跳闸,大面积停电。这种“电压崩溃”事故对电网和用户,都造成了巨大的危害,而且用户取用大量无功功率,使发电厂的功率因数严重下降,封锁了发电厂的有功功率输出,因转矩大幅下降而使发电量的供需矛盾更加突出。解决此问题的方法:(1)采取必要的无功功率补偿措施,通常都采用电力电容器补偿;(2)采用同步电动机调相或带载过励功率因数超前运行,恒功率因数闭环运行对电网进行无功功率补偿。

1.1.2 同步电动机向电网输送无功功率,有利安全供电

对大型排灌站,供电部门要求采用同步电动机,因为对电网来说,同步电动机是一个供给无功功率的电源。在平时,它减少了电网所发的无功功率,减小了高压电力网的工作电流,因此也就使高压电网的电能损耗减小,提高了附近电网的电压水平,使发电厂、电网及用户都能在经济合理的工况下运行。当电网发生短路故障时,同步电动机也能通过快速强行励磁使附近保持较高的电压,减轻或避免了电压崩溃之类故障的危害。对用户而言,同步电动机当电网电压波动较大时运行稳定性较好。所以,同步电动机的突出优点是对电网和用户的安全供电有利。

1.1.3 同步电动机接入电网空载调相运行,专发无功功率

在非排灌季节,同步电动机接入电网空载运行也可以专发无功功率,这就提高了电网的功率因数,使发电厂能在不超铭牌电流的情况下发出更多的有功功率,亦即使电网的电压与

电流的相位差调整得更合理(提高 $\cos\varphi$),所以这种运行方式通常称为调相运行。

1.1.4 微机控制型晶闸管励磁恒功率因数运行,节能增效

同步电动机自电网吸取的有功功率完全取决于它所拖动负载的需要,若负载不变,即从电网吸取的有功功率不变时,可以调节微机励磁装置的直流励磁电流来改变自电网吸取的无功功率的大小和方向。设定在某一输出功率时,改变励磁电流 I_L ,就可以得出定子电流 I 变化的曲线,从 $I_L - I$ U型曲线不难看出(见 1.2.2 节),如果使运行在电网上的同步电动机工作在过励状态,将滞后的无功功率输送电网,起着供给感性无功功率的发电机作用,这就是改善了电网功率因数的根本所在。在 1999 年 3 月,江都抽水站更新改造后的 15 台 LZK - 3 型微机励磁,实时运行方式选择在闭环恒功率因数运行,通过本柜按键或控制室上位 PC 机、RS485 数字通讯口,上载下载可调,设定参数恒功率因数超前, $\cos\varphi = 0.95$,这样不论是由于水泵叶片角度的调节正或负、上下游水位落差增或减、电网电压高或低、运行工况改变等都将运行在 U 型曲线的特定范围之内。由全数字化及微电脑智能型控制技术,实现自动随机调节、无需人员看守、节能增效,取得十分明显的经济效益。但,必须指出,同步电动机在运行中具有很多不同的特点,特别是启动、调相、失步、非同期、异步运行等工况涉及到异常运行理论和电机安全,故有认真探讨之必要。

1.2 同步电动机工作的基本原理分析

1.2.1 异步电动机的基本工作原理

由电机学可知,异步电动机工作的基本原理是依靠定子旋转磁场和转子感应电流之间的作用力矩,实现机械能与电能的转换。感应电动机中,转子电流依靠定子磁场切割转子导体感应而产生,所以定子旋转磁场转速 n_1 与转子转速 n 必须不相等才能产生感应关系,也就是说,转子转速必须“小于定子旋转磁场旋转速度”才能正常工作。感应电动机的原理如图 1.1 所示。

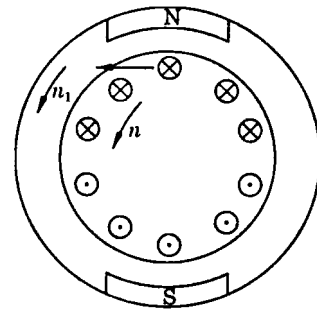


图 1.1 感应电动机原理

1.2.2 同步电动机的工作原理

同步电动机与异步电动机不同,它的转子线圈电流由直流励磁电源供给,因此它的转子磁场必须与定子旋转磁场严格同步,换句话说,它的转子转速 n 必须符合条件: $n = n_1 = 60f/p$ 。式中 n_1 为同步转速, f 为电网频率, P 是电机定子旋转磁场的极对数。也就是说,同步电动机的转子只有在恒定不变的转速 $n = n_1$ 的条件下运行,才能产生稳定的电磁力矩,实现机电能量的变换。电动机正常工作时,电动机定子磁场轴线与转子磁场轴线之间有一个角度 θ , 扭曲的磁力线的切向分力才产生电磁转矩。如果阻力矩增大,定子与转子磁场轴线之间的角度 θ 就被进一步拉大,于是磁力线的切向分力也增大,定子磁场就拖动转子磁场旋转,使电网输入

的电转变为转子轴上的机械能。同步电动机的原理如图 1.2 所示。

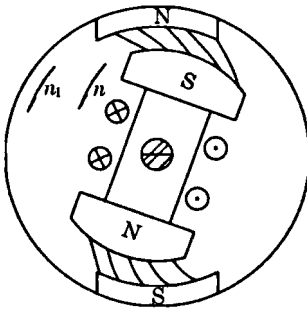


图 1.2 同步电动机原理

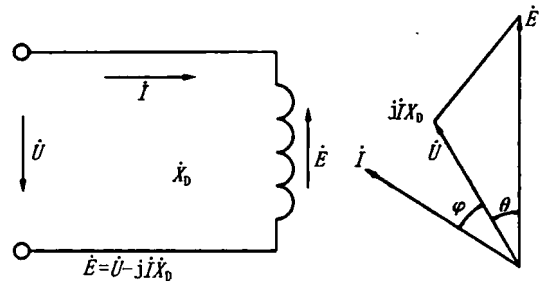


图 1.3 同步电动机等值电路及矢量图

同步电动机的等值电路和矢量图如图 1.3 所示,定子电流 I 超前于端电压 U ,即表示同步电机在正常过激磁状态运行时,同步电动机像电容器一样向电网输出无功功率。

同步电动机输入电磁功率 $P_M = \frac{EU}{X_D} \sin \theta$, 式中 X_D 是电机的同步电抗。由于同步电动机转速恒定,故其电磁力矩 M 与 P_M 成正比,也就是与 $\sin \theta$ 成正比。水泵电机带额定负载时, θ 角约 35° 左右,其最大力矩 $M_{\max}$ 相当于 θ 角为 90° 。如 θ 角达到 90° ,电机将失去同步。一般水泵电机 $M_{\max} = 1.5 \sim 1.8 M_e$, M_e 为同步电动机的额定力矩。因为同步电动机的电磁功率 $P_M = M_D \omega$, 而角速度 ω 是恒定不变的常数,所以它的电磁力矩为

$$M_D = \frac{EU}{\omega X_D} \sin \theta$$

$M_D = f(\theta)$ 的曲线形状与功角特性完全相似。见图 1.4,同步电动机的功率角特性所示。

如果水泵电机带额定负载稳定运行时,再增大或减小其励磁电流 I_L , 不难发现电机在 $\cos \varphi = 1$ (图 1.5 中 0 点, 相当于 $E \approx U$ 时), 定子电流 I 为最小, 当增大励磁时, 同步电动机发出无功功率 (oA 段); 当减小励磁时, 同步电动机将如感应电动机一样取用无功功率。由于 $I = f(I_L)$ 形状与 U 字相似, 此曲线常称之为“同步电动机的 U 形曲线”。U 形曲线见图 1.5 所示。

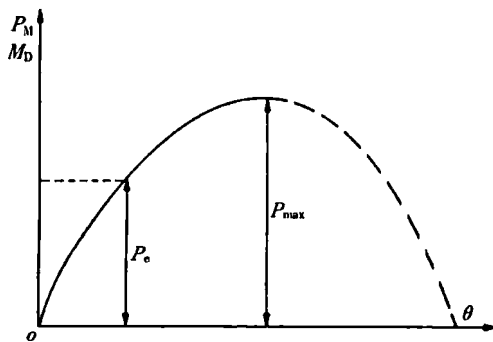


图 1.4 同步电动机功率角特性

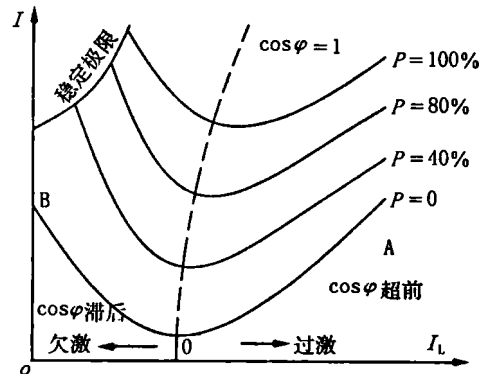


图 1.5 同步电动机的 U 形曲线

1.3 同步电动机的特殊运行工况

在前面我们所研究的同步电动机的运行过程中,不难发现,电动机工作时的电压 U 、电流 I 、功率因数角 φ 、取用有功功率 P 、取用无功功率 Q 都在变化。为了讨论方便,我们以电动机惯例来表示各个工况的特性,电动机惯例见图 1.6 所示。这时候定义的正方向如图所示,即电流由电网输入为正,功率由电能变为机械能(输入电能)为正,取用电感性无功功率(输入无功)为正,电动机反电势 $-E$ 向上为正。下面,我们即按此分析电动机的四种运行工况。

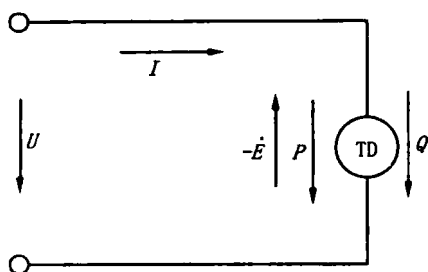


图 1.6 电动机惯例

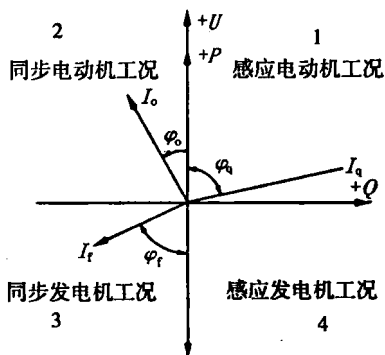


图 1.7 同步电动机运行工况

1.3.1 异步启动

当同步电动机异步启动时,电网外施电压 U 在定子中产生电流 I_q ,电动机由电网取用有功功率 P ,电机拖动水泵旋转,电能转化为机械能。电动机由电网取用无功功率 Q ,用以建立电机的旋转磁场。所以,启动时同步电动机实际上处于图 1.7 上的第一象限,即 $P > 0$ 、 $Q > 0$ 、 $\cos\varphi_q$ 滞后的感应电动机运行工况。

1.3.2 投入励磁

当同步电动机投入励磁同步运行以后,电网外施电压为 U ,但转子由于励磁在定子中产生电势 $-E > U$,电动机向电网输出无功功率 Q ,但电动机仍旧由电网取用有功功率 P ,电能转化为机械能,这时 $P > 0$ 、 $Q < 0$,电流 I_D 超前于外施电压 U , $\cos\varphi_D$ 超前,故电机运行于第二象限,即同步电动机运行工况。

1.3.3 强行励磁

当电网事故停电,同步电动机强行励磁动作,电网外施电压 $U = 0$,但电动机由于惯性仍在以亚同步迅速旋转,定子中产生感应电势 $\dot{E}$,于是电动机向故障、倒送短路电流,即输出有功功率 P 及无功功率 Q ,机械能转化为电能。这时 $P < 0$ 、 $Q < 0$,电流 I_F 落后于感应电势 E ,对 E 来说 $\cos\varphi_F$ 滞后,故电机运行于第三象限,即同步发电机工况。顺便指出,故障时 I_F 的存在常常是自动重合闸失败的主要原因。

1.3.4 电网停电,水泵机组反转,恢复供电,再整步恢复同步

在电网停电,电机灭磁以后到电网恢复供电这一段时间里,电势 E 及电流 I_F 都不复存在。电机及水泵由于惯性仍旧按原来旋转方向正转,水泵出水口水位高于进水口水位,故水泵扬程 $H > 0$ 。但这时水流由高水位流向低水位,故流量 Q 的方向与抽水时相反,即水流能量力图使电机停转 $\rightarrow$ 反转,即水泵机组此时处于水力制动工况。

如果电网停电时间较长,水泵机组将反转,即在反向水头作用下变为水轮机运行,由于此时机组与电网断开,水流能量将使水泵升速到反转飞逸状态。

当水泵机组在反转状态时,如果电网突然恢复供电,于是水泵机组将从两方面获得能量,即水流能量使电机反转,电源能量通过电磁感应变为机械能使电机正转,最后是电源能量起主导作用,使电机逐步由反转 $\rightarrow$ 停转,再进入异步启动工况。在电机反转,恢复供电时,由于转子切割磁力线的相对速度很大,电机将受到严重的电流冲击和力矩冲击,即同步电动机此时处于感应电动机的反接制动工况。由于水泵机组不可能使电机超过同步速度正转,所以不会进入感应发电工况(第四象限 $P < 0, Q > 0$)。

当电机进入异步启动工况之后,正转转速将逐步上升到正向转速,于是电机经过再整步过程恢复同步。

1.4 水泵同步电动机的电磁力矩

电磁力矩是同步电动机的拖动力矩,现对此简要分析。

1.4.1 同步力矩

同步电动机在正常同步运行时产生稳定的电磁力矩,它就叫同步力矩,其物理意义如图 1.8 所示。

1.4.2 异步力矩

同步电动机启动力矩很小,为了使水泵同步电动机能在拖动水泵的负载情况下启动,在它的转子凸极表面上装有黄铜条及铜环等组成的启动绕组(这一点与感应电动机的鼠笼转子相似)。当电动机定子接通三相交流电源时,由大家熟悉的感应电动机原理可知,转子将按旋

转磁场的方向启动旋转,其物理意义如图 1.9 所示。但是,同步电动机希望较大的定转子空气隙使 X_L (同步电抗)减小,这时电动机的 θ 角较小,使过载压力大,运行稳定性好。所以在启动过程中,同步电动机相当于漏磁特别大的感应电动机,它和异步电动机一样,具有异步力矩,其区别是异步启动力矩和异步最大力矩都比正常的异步电动机要小,其力矩 - 转差率特性曲线如图 1.10 中的曲线 2 所示。由曲线可知,使 $M = f(s)$ 曲线畸变很大,此原因将在下面讨论。

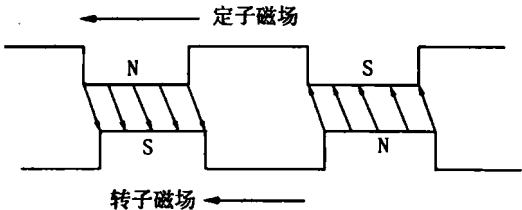


图 1.8 同步电动机的磁拉力