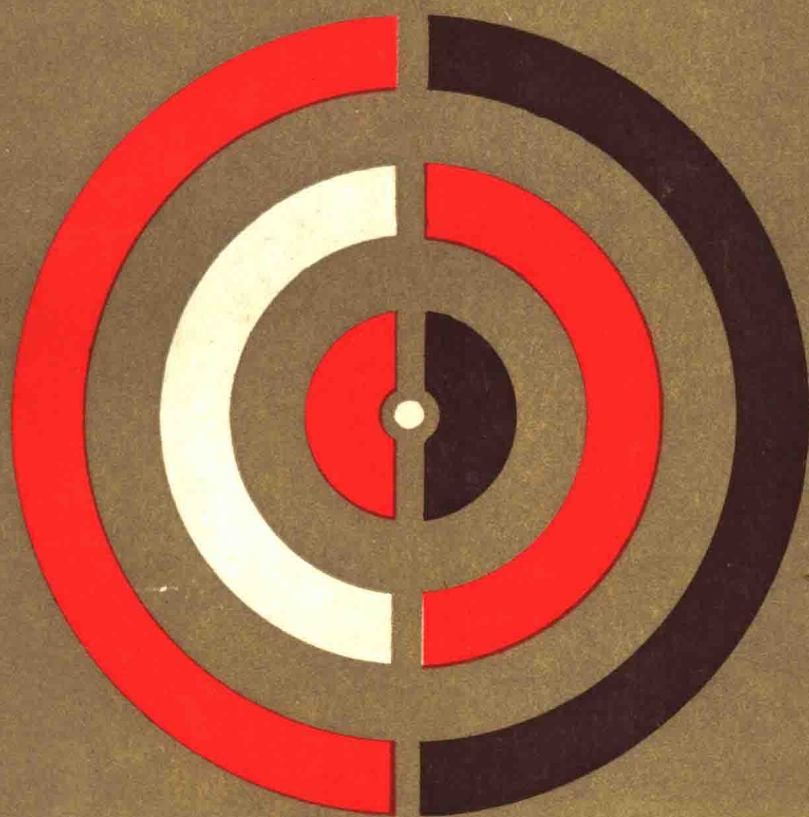


中小型同步发电机 励磁系统

四川工业学院

刘遂生编著



四川科学技术出版社

中小型同步发电机励磁系统

四川工业学院 刘遂生 编著

四川科学技术出版社

一九八六年·成都

责任编辑：王蜀瑶

封面设计：朱德祥

中小型同步发电机励磁系统

刘遂生 编著

出版：四川科学技术出版社

印刷：四川省蓬溪县印刷厂

发行：四川省新华书店

开本：787×1092毫米 1/16

印张：18 插页：4

字数：291千

印数：1—3,000

印次：1986年9月第一版

印次：1986年9月第一次印刷

书号：15298·247

定价：3.85元

前 言

当代,无论是水电、火电,还是其他形式的电能生产,主要依靠同步发电机,励磁系统则是同步发电机的重要组成部分。

随着半导体整流器件的发展,我国自七十年代以来,同步发电机正逐步从带直流励磁机的常规励磁方式,向半导体整流励磁方式发展。于是,励磁装置新旧交替,种类复杂,型号繁多,对有关工程技术人员提出了更高的要求。因而,不少省、区的各级业务主管部门和基层单位人员,切望有一本密切结合实际,而又适合他们学习的专业技术书籍。

为此,编者广泛深入收集了我国有关设计、制造、科研及运行使用部门的大量技术资料,在教学科研的基础上,全面充实内容后,写成此书。

本书系统全面地阐述了目前我国广泛流行的同步发电机各种励磁方式的基本工作原理、实际电路分析,以及运行、维护、故障处理、调试、检修等。

本书主要对象为中、小水电部门的电气技术人员和技工;亦适合具有同步发电机的小火电、石油井场、船舶、野战部队,以及工厂、矿山自备电站和流动电站的上述人员学习;还可供有关专业的大、中专院校师生,以及电机、电器设计、制造人员参考。

本书由上海交通大学吴硕麟、施忆生及林闰汤三位副教授审阅。

本书在收集资料过程中,曾先后得到四川、广西、广东、福建、云南、湖南、江苏、上海、湖北、河南等省、市、自治区有关各级水电主管部门,以及制造厂、水电站、设计院、研究所、兄弟院校等大力支持和热情帮助;在编写和出版发行中,又得到水电部农电司水电处、中国电机工程学会农村电气化专业委员会、成都市委、四川省水电厅科教处、四川省水利电力研究所科技情报中心站、四川工业学院、院科研处、院基金办公室、院学报编辑室、水电出版社成都发行站以及四川、浙江、广东、广西、黑龙江、吉林、成都、柳州、桂林、绵阳、荣经、蓬溪、邛崃、三台、遂宁等水电部门和四川石油管理局机动处、成都整流器厂、广东省电气控制设备厂、贵州长征电气控制设备厂、广西金城江发电设备厂等单位领导和有关同志的关注和支持,特此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有谬误、疏漏及不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

1985年10月于四川工业学院

目 录

第一章 励磁系统综述	(1)
1—1 励磁系统及其要求.....	(1)
1—2 励磁系统的基本结构.....	(1)
1—3 中小型同步发电机励磁方式分类.....	(2)
1—4 常用励磁方式的主要特点、适用范围及发展趋势.....	(2)
第二章 带直流励磁机的常规励磁系统	(10)
2—1 概述.....	(10)
2—2 小型低压同步发电机的常规励磁系统.....	(10)
2—3 常规励磁系统中的强行减磁.....	(11)
2—4 常规励磁系统中的自动灭磁.....	(12)
2—5 常规励磁系统中的强行励磁.....	(13)
2—6 复式励磁.....	(16)
2—7 常规励磁系统中的操作回路.....	(19)
第三章 低压小容量机组半导体整流励磁的原理、运行、问题及解决措施	(25)
3—1 概述.....	(25)
3—2 电抗移相直接复合式相复励装置.....	(27)
3—3 电抗移相变压器复合式相复励装置.....	(32)
3—4 电抗移相变压器复合式相复励的派生装置.....	(36)
3—5 双绕组电抗分流式相复励装置.....	(40)
3—6 谐波励磁方式.....	(47)
3—7 负序磁场自励恒压的无刷励磁装置.....	(60)
第四章 可控硅整流励磁主电路	(62)
4—1 概述.....	(62)
4—2 励磁绕组电感引起的失控现象.....	(64)
4—3 励磁电源漏感引起的换相重迭现象.....	(66)
4—4 三相全控桥式整流及逆变电路.....	(67)
第五章 可控硅励磁主电路的保护	(75)
5—1 过电流及其保护装置.....	(75)
5—2 过电压及其保护装置.....	(78)
第六章 自动励磁调节器的基本调节装置	(84)
6—1 概述.....	(84)
6—2 调差(无功补偿)单元.....	(87)
6—3 电压测量比较单元.....	(97)
6—4 综合放大单元.....	(107)

6—5	控制方式切换电路	(116)
6—6	移相触发单元	(119)
6—7	各基本调节装置的特性配合及自动调节过程	(136)
第七章	自动励磁调节器的辅助调节装置	(139)
7—1	过励限制单元	(139)
7—2	低励限制单元及失磁保护	(145)
7—3	稳定及校正电路	(149)
7—4	补偿电路	(153)
7—5	直流稳压电源	(156)
第八章	中小型同步发电机励磁系统实际电路分析	(159)
第一类	带继电型自动调节装置的直流励磁机常规励磁方式	(159)
8—1	DTI—I型碳阻式自动励磁调节装置	(159)
8—2	带强励、强减、自动灭磁及复励装置的常规励磁系统	(160)
第二类	带晶体管或可控硅自动调节装置的直流励磁机励磁方式	(164)
8—3	支农—11型晶体管式励磁调节装置	(164)
8—4	GLT—1型并联可控硅励磁调节装置	(166)
8—5	ZLT—2G型串联可控硅励磁调节装置	(169)
第三类	带磁放大器式电压校正装置的直流励磁机励磁方式	(172)
8—6	KLT型相复励自动励磁调节装置	(172)
第四类	带可控硅调节器的自激励磁方式	(180)
8—7	带TKL—11型调节器的自并激励磁系统	(180)
8—8	带KGLF—31型调节器的自并激励磁装置	(189)
8—9	带BLZ—1型调节器的自并激励磁装置	(191)
8—10	带KLZ—30B型调节器的自并激励磁装置	(203)
8—11	带可控硅调节器的两相零式自并激励磁装置	(210)
8—12	带KLZ—3·1型调节器的自复激励磁装置	(212)
8—13	带KGLF型调节器的自复激励磁装置	(216)
8—14	带KGLF—21F型调节器的自复激励磁装置	(218)
8—15	带三相全控桥自动调节器的励磁装置	(223)
第五类	带可控硅调节器的相复励方式	(226)
8—16	带KXT—1型可控硅分流自动调节器的相复励装置	(226)
第六类	副绕组供电带可控硅调节装置的励磁方式	(229)
8—17	由基波副绕组六相半控桥供电的可控硅励磁调节装置	(229)
8—18	TFKGL型可控硅励磁调节装置	(234)
8—19	SZT—3型频率给定式励磁调节装置	(240)
第七类	谐波加基波副绕组可控硅分流励磁调节方式	(243)
8—20	谐波加基波流直侧串联复合式分流励磁调节装置	(243)
8—21	谐波加基波交流侧串联复合式可控硅分流自动励磁调节装置	(246)
第八类	交流励磁机静止硅整流式可控硅自动励磁调节方式	(249)
8—22	带可控硅调节器的交流励磁机静止式硅整流励磁装置	(249)

第九类 带可控硅调节器的交流励磁机旋转整流（无刷）励磁方式	(253)
8—23 带BKF—W型调节器的无刷励磁装置	(253)
8—24 TSWN—74系列带可控硅调节器的无刷励磁装置	(256)
第九章 可控硅自动励磁调节系统的检查调试、运行维护及故障处理	(260)
9—1 可控硅励磁系统的检查及调试	(260)
9—2 可控硅励磁调节装置的操作运行及检查维护	(274)
9—3 可控硅励磁调节装置的常见故障及处理	(277)

第一章 励磁系统综述

1—1 励磁系统及其要求

同步发电机的励磁绕组需要直流电源激励方能产生磁场。一般将励磁绕组、励磁机或其他励磁电源、灭磁装置以及自动和手动励磁调节装置的总体，称为励磁系统。该系统是同步发电机的重要组成部分，其运行情况，直接影响机组及电网运行的可靠性和稳定性。对励磁系统的主要要求是：

1) 正常运行时，励磁系统应具有足够的励磁容量及良好的反应特性。具体表现在：单机运行时，应能按负载及机组运行方式的变化，自动调节励磁电流，维持机端电压于额定值不变；并联或并网运行时，应能按机组容量及电网电压合理分担无功，并维持电网某点电压于一定水平。

2) 事故或不正常运行时，应具有快速反应各种突变的能力。具体表现在：当电网短路或其他原因造成机端电压严重下降时，应快速提供足够大的强励顶值电流，以提高电网运行稳定性、继电保护动作可靠性及异步电动机的自启动能力；当机组或电网突然甩负载或其他原因，造成机端电压急剧升高时，能强行减小励磁，防止电压过高，危及机组或其他电气设备的绝缘；当机组内部或引出线上短路时，能迅速灭磁，防止事故扩大。

3) 应具有良好的抗干扰能力，即运行应不受其他机组或电网运行状态的干扰。

4) 应能按运行要求，自动限制机组的最大及最小励磁电流。小型机组为了简化接线，一般不作此要求，或只限制最大值。

5) 为了确保励磁系统（特别是可控硅等半导体元件构成的励磁调节装置）的安全运行，应设置足够可靠的过电流及过电压等保护装置。

6) 应在没有外部交流电源的情况下，用电池或机组的剩磁建压。

除此之外，励磁系统应力求接线简单、操作简便、运行可靠、便于维修、价格低廉。

1—2 励磁系统的基本结构

励磁系统由励磁主电路及励磁调节电路两大部分组成。励磁主电路包括同步发电机的励磁绕组、励磁电源、整流装置及灭磁电路；励磁调节电路包括自动及手动励磁调节装置等。其基本结构如图1—2—1。

(1) **励磁主电路** 将励磁电源输出的交流电，经整流装置变换成直流后，通过灭磁装置，供给同步发电机励磁绕组的整体电路。除励磁绕组外，励磁主电路尚包括以下部分：

励磁电源 为同步发电机励磁所需的电能供给者。对于带直流励磁机的常规励磁系统，为直流发电机；对于半导体励磁系统，励磁电源可以为旋转的交流发电机，也可为静止的变压器、变流器或电抗器。交、直流励磁机可由水轮发电机组本身驱动，也可由机组自身供电或电网供电的电动机驱动；励磁变压器、变流器及电抗器的电源，可直接取自发电机自身，也可由电网提供。

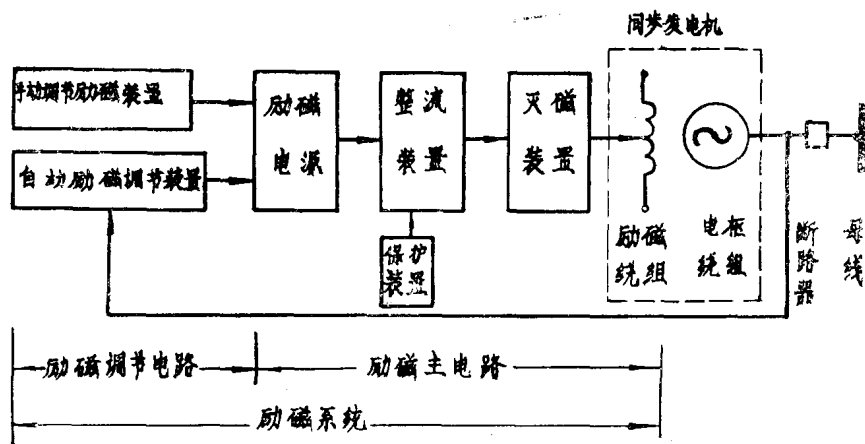


图 1—2—1 励磁系统基本结构方框图

整流装置——将励磁电源供给的交流电变换成直流，可以是机械式，也可由大功率半导体整流元件构成。前者如直流励磁发电机的整流器；后者分两类，由整流二极管构成的不可控整流装置，以及由可控硅元件构成的可控整流装置。

由于半导体整流元件比较脆弱，承受过电压及过电流的能力较低，为了保证励磁系统足够的可靠性，设有过电压及过电流等保护装置。

灭磁装置——当机组内部或引出线上短路时，用来迅速灭磁。该装置一般由灭磁开关及灭磁电阻构成，有的则采用有源逆变电路。

(2) 励磁调节电路 该电路能按机组及电网的运行情况，自动或手动调节励磁，以满足正常或事故状态下机组所需励磁电流。

自动调节装置——分基本调节装置及辅助调节装置两部分。基本调节装置包括调差、测量比较、控制方式切换、综合放大及移相触发等单元电路；辅助调节装置包括过励及欠励限制、稳定校正及补偿等单元电路。

手动调节装置——如常规励磁系统中的直流励磁机磁场变阻器，可控硅励磁系统中的手动调节电位器及有关电路等。

1—3 中小型同步发电机励磁方式分类

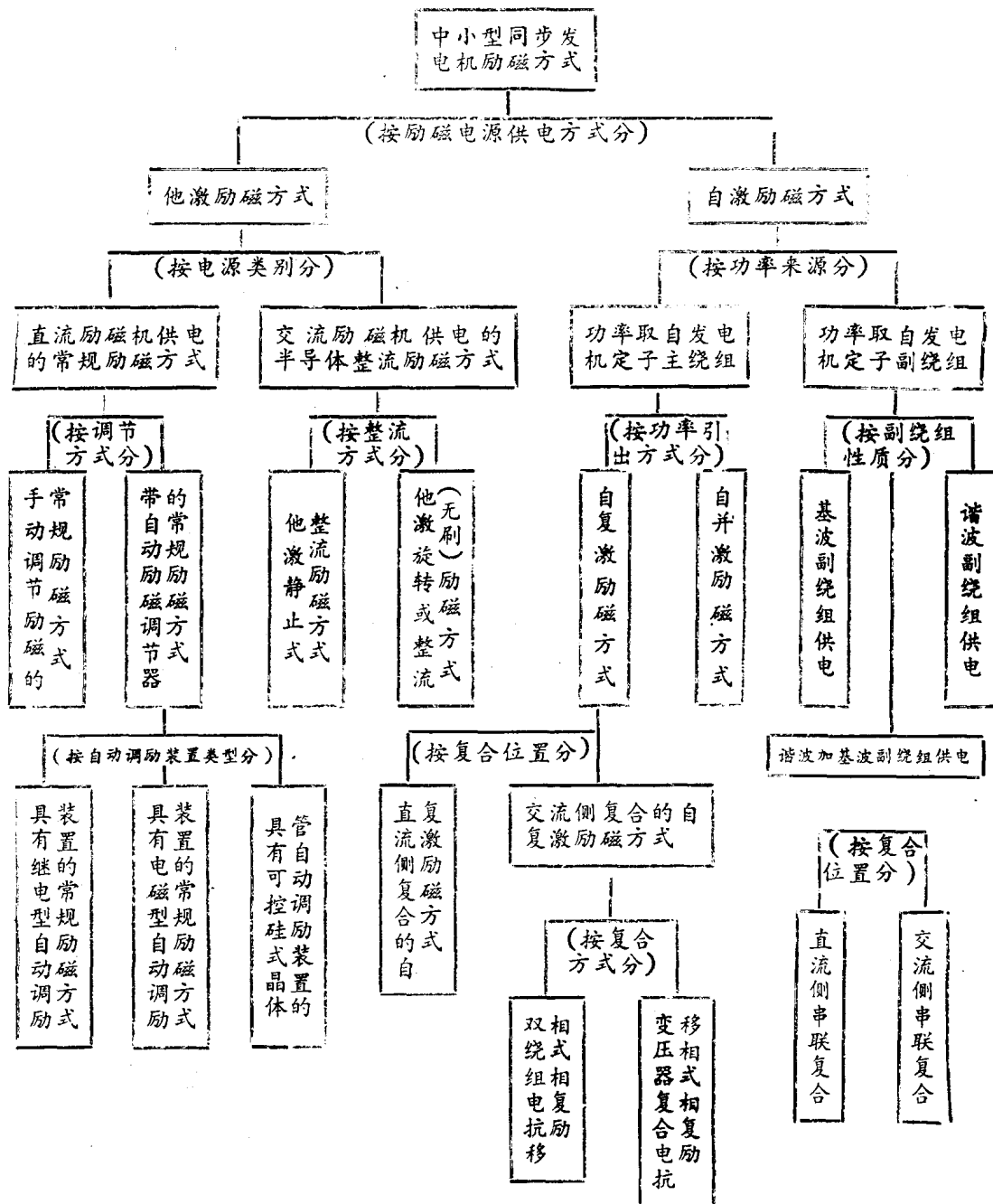
目前同步发电机的励磁，正处于新旧交替时期，种类繁多，有的尚未定型。表 1—1 列出了中小型同步发电机常用的励磁方式分类。

1—4 常用励磁方式的主要特点适用范围及发展趋势

1. 由直流励磁机供电的他激式常规励磁方式

图 1—4—1 为手动调节励磁的常规励磁系统接线图。直流励磁机电枢绕组 L 直接向同步发电机励磁绕组 FLQ 供给直流电产生磁场；励磁机为自并激直流发电机，通过手动调节磁场变阻器 R_{CB} ，改变励磁机励磁绕组 LLQ 中的电流，以调节 FLQ 中的电流。

表 1—1 中小型同步发电机常用励磁方式分类表



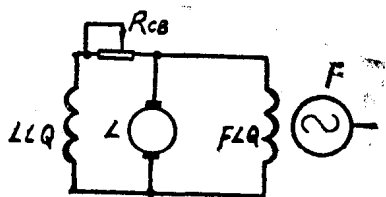


图 1—4—1 手动调节励磁的常规励磁系统接线图

F—同步发电机电枢绕组；FLQ—同步发电机励磁绕组；L—直流励磁机电枢绕组；LLQ—直流励磁机励磁绕组；RCB—磁场变阻器

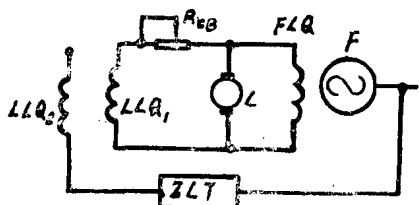


图 1—4—2 具有自动励磁调节器的常规励磁系统示意图

LLQ₁、LLQ₂—直流励磁机的第一、二励磁绕组；ZLT—自动励磁调节器；其余同图 1—4—1

维修工作量大；因整流子和电刷间相对运动的限制，使高速直流励磁机的容量受到限制（极限容量约700千瓦）。

这种励磁方式一般适用于无特殊要求的大、中、小型同步发电机。与半导体励磁比较，常规励磁方式缺点显著，大有被前者取而代之，逐渐淘汰的趋势，目前正处于两种励磁方式替换的过渡时期。

2. 由交流励磁机供电的他激静止式不可控整流励磁方式

这种励磁有几种接线型式，目前广泛使用的主要型式如图 1—4—3。自并激或自复激式交流励磁机 JL 发出的交流电，经整流器 Z 转换成直流后，由电刷及滑环引至主机励磁绕组 FLQ。自动励磁调节器 ZLT 根据主机运行情况，自动调节交流励磁机励磁绕组 JLQ 的电流，达到调节主机励磁目的。

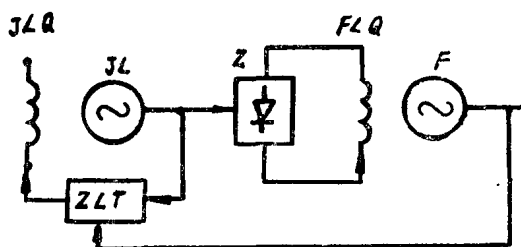


图 1—4—3 由交流励磁机供电的他激静止式不可控整流励磁系统接线示意图

JL—交流励磁机电枢绕组；JLQ—交流励磁机励磁绕组；Z—整流器；其余同图 1—4—2

主要优点：励磁机为交流发电机，无机械整流子，维护工作量较小；通过调节交流励磁机励磁，实现对主机励磁的调节，所需控制容量小，可轻化调节器，降低制造成本；励磁电源独立可靠，外界干扰可能性小；时间常数较大，反应速度较慢；若将不可控整流器 Z 换成全控桥式整流器，既可实现逆变灭磁，取消灭磁装置，也可减小时间常数，加快反应速度。缺点是：一般交流励磁机的功率因数低，容量裕度大，有色金属消耗量较大，励磁系统接线比较复杂。一般用于大、中、小型机组。

3. 由交流励磁机供电的他激旋转式不可控整流励磁（无刷励磁）方式。

这种励磁方式的原理接线与上述他激静止整流励磁方式相同，但结构大不一样。这里，交流励磁机的直流励磁绕组固定不动，励磁机的交流电枢绕组、整流器与主机励磁绕组一起，构成同轴旋转的转子整体，不但取消了常规励磁中的整流子-电刷结构，而且取消了与

主机励磁绕组相联的滑环-电刷结构，故称无刷励磁。图1—4—4为目前小型机组常用的一种接线方式。交流励磁机JL的励磁绕组JLQ由主机副绕组FF经自动励磁调节器ZLT供电，图中虚线框内为与主机同轴旋转的励磁部分，其余部分静止不动。

交流励磁机的励磁电源，可取自主机机端，亦可取自主机的基波或谐波副绕组，还可取自永磁机。

关于旋转整流器，目前中小型同步发电机几乎毫无例外地采用不可控整流方式。由于可

控整流接线复杂、不易控制、价格昂贵，故只用于大型机组及要求反应快的特殊场所。

主要优点：

①由于励磁系统中无整流子、滑环、电刷及开关等器件，不但消除了电气上最易发生故障的滑动接触，还消除了一般开关的机械接触，从而大大提高了运行可靠性，并使维护工作量显著减小。对于巨型机组，展示了一条如何将强电流引入励磁绕组的广阔道路：

②励磁电源独立可靠，外界干扰可能性很小：

③取消整流子、滑环、电刷等器件，不但可紧 缩 机 组 体 积，减小总长，甚至可将交流励磁机与主机置于同一机壳内。后者如福州发电设备厂的7~75KW机组便是。由于以上优点突出、故有关部门已将无刷励磁作为800KW以下同步发电机系列设计的推荐方案之一。

同步发电机的旋转整流无刷励磁，解决了常规励磁及上述静止式不可控整流励磁方式中许多带根本性的问题，受到国内外极大关注，是励磁方式的发展方向之一。但有待解决的问题也不少，主要有以下几方面：

(1) **励磁系统可靠性问题** 无刷励磁方式主要从主机及励磁系统的整体性出发逐渐形成的，其投入、切除及运行，均以整机为单元，不考虑备用励磁电源的切换问题，这就必须考虑励磁系统各组件可靠性方面的许多问题。诸如旋转整流器及其辅助设备（熔断器、电阻、电容等），在运行中因承受强大离心力而提出的质量要求。此外，对机电结构的合理性、安装检修的质量等，均有较高要求。

(2) **反应速度问题** 对具有旋转整流器的无刷励磁系统，主机励磁一般通过调节交流励磁机的励磁间接调节，这就增加了励磁系统的时间常数，使反应速度降低。由于一系列原因，不可能大量地将旋转的不可控整流器改为可控整流器，这就必须从改善交流励磁机本身着手。如在结构上采取措施降低交流励磁机的漏抗，以减小时间常数，及提高交流励磁机的频率等。

(3) **测量及监视问题** 对励磁系统的旋转部分，特别是主机励磁绕组的电压、电流，至今国内外尚未得到满意解决，目前主要采用以下几种方法：

1) 利用励磁机的励磁电流与励磁机电枢电流的对应关系，通过换算，得到主机励磁电流。为了方便，将主机励磁电流与励磁机励磁电流的关系，作成曲线（称为励磁控制特性）。运行中，按励磁机励磁电流表的指示，查曲线即可得到对应的主机励磁电流值；亦可将励磁机的励磁电流表刻上对应的主机励磁电流刻度，以便运行中直接读数。图1—4—5为金城

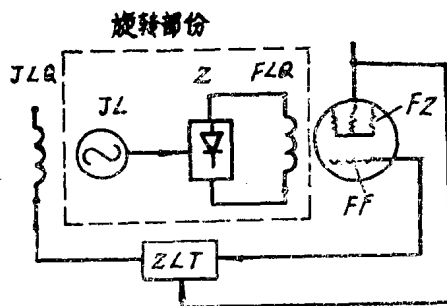


图1—4—4 由交流励磁机供电的他激旋转式不可控整流励磁系统接线图
FF—主机副绕组；其余同图1—4—3

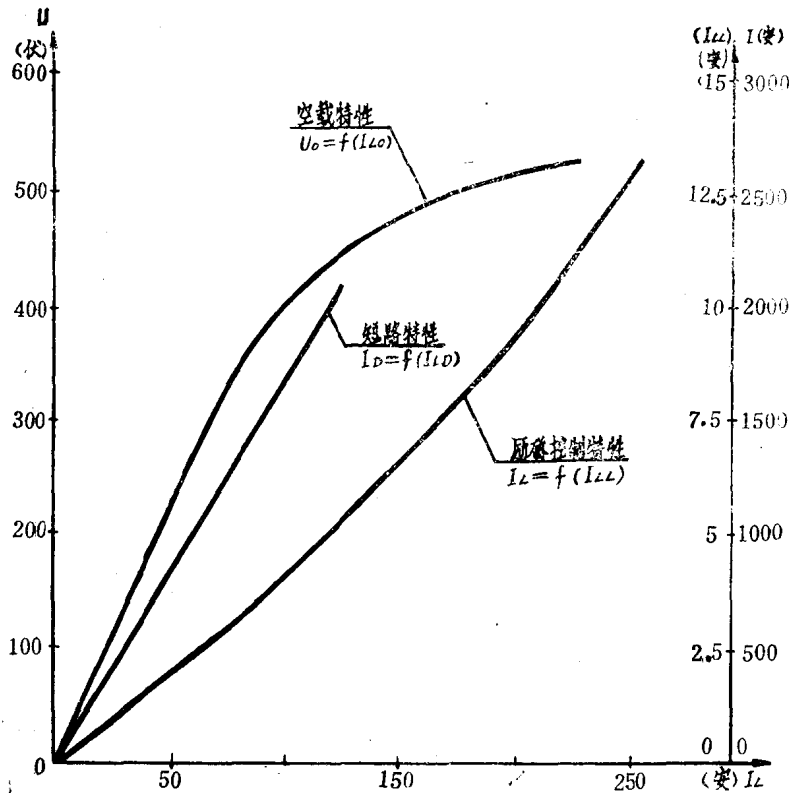


图 1—4—5 励磁控制特性曲线

U—发电机端电压；I—发电机电枢电流；IL—发电机励磁电流；ILL—励磁机励磁电流；ID—发电机短路电流；IID—对应于ID的发电机励磁电流；U0—发电机空载电压；IL0—对应于U0的发电机励磁电流

2) 在交流励磁机磁极间放置绕有测量线圈的矩形铁心，间接测量主机励磁电流。由于交流励磁机的负载为大感性的主机励磁绕组，故励磁机电枢绕组（旋转的）中的电流，近似矩形波，因而，该电流可分解为1、3、5、7、9、11、13……等奇次谐波。其中，3、9、15……等三的倍数次谐波电流，由于在无中性线的Y形接法的励磁机电枢绕组中无通路，故不会在励磁机气隙中产生电枢反应磁场，测量线圈中便无感应电势。因此，气隙中只有1、5、7、11、13、17、19……次谐波电流的电枢反应磁场；其中，基波（1次）电枢反应磁场，相对于励磁机的静止磁场固定不动，测量线圈中亦无感应电势；5、11、17……次电枢反应磁场，与励磁机电枢的旋转方向相同，在测量线圈中感生6、12、18……等六的倍数次谐波电势；7、13、19、……次电枢反应磁场与励磁机电枢旋转方向相反，亦在测量线圈中感生6、12、18、……次谐波电势。可见，测量线圈中只有 $6n$ ($n=1, 2, 3, \dots$) 次谐波电势。当测量线圈的铁心未饱和时，这些谐波电势正比于励磁机电枢电流，即主机励磁电流。因此，接在测量线圈中的仪表能间接反应主机励磁电流。

3) 在转子轴上装设一套专供测量励磁电压及对地绝缘用的小滑环及电刷。有的机组还附一套举刷机构，当不需测量时，该机构举起电刷，脱离滑环，可减小磨损。

4) 采用无线电测量。在主机转子上装一小型无线电发送器，经旋转变压器供给发送器中频电源，使之工作于固定频率上；发送器的电压-频率变换装置将主机励磁电压调制成正

比于某一频率的脉冲信号，迭加在发送器的工作频率上，再用遥测线圈发送到接收器，经过处理，便可得到主机励磁电压值。显然，这种测量装置的结构及接线均较复杂。

(4) **主机励磁绕组的接地保护问题** 包括一点接地信号以及对机组安全运行威胁很大的两点接地保护，至今尚未确决。

(5) **旋转整流元件的保护问题** 运行经验表明，在强大离心力的作用下，整流二极管往往比保护元件（特别是快速熔断器）还可靠，励磁系统的故障，很少是由于遭受过电压或过电流损坏而引起的。国内外不少研究部门实际测知，无保护时，主机励磁绕组的过电压值一般不超过4~8倍额定励磁电压。因此，可适当加大整流元件的电压及电流额定，再在励磁绕组两端并联一线性或非线性电阻，该电阻主要用来抑制主机运行状态变化，如外部电网突然短路和短路消除后电压恢复过程中，以及自同期、失步、失磁等产生的过电压；非线性电阻的特性是：正常运行时，励磁电压低、呈现高阻，对电路影响极微；当励磁绕组过电压时，呈现低阻，过电压能量很快被泄放掉，从而起到过电压抑制作用。该电阻阻值一般为励磁绕组直流电阻 R_L 的2~5倍。例如，当选用 $3.5R_L$ 时，可将过电压限制在额定励磁电压的1.35倍左右。此外无需其他保护。按此，每一桥臂可选用两只或两只以上正烧及反烧型旋转整流二极管并联工作；运行中，当其中的一只损坏时，其余并联管子尚可维持机组继续运行，整流二极管的额定电压按大于10倍最大励磁电压、额定电流按大于2倍最大励磁电流选用；并联电阻在正常状态下的阻值为励磁绕组阻值的2~5倍。（注：正烧及反烧型整流二极管，分别以阳极及阴极作管座，以便组合成共阳极组及共阴极组固定在作散热用的旋转圆盘上。）

(6) **自动灭磁问题** 对于旋转式不可控整流励磁，目前尚无法在主机励磁回路中加入灭磁电阻；只是在交流励磁机的励磁回路中，通过灭磁开关并联灭磁电阻，但励磁机的时间常数较大，其灭磁效果不如在主机励磁回路中直接灭磁那样好。对于旋转式可控硅整流励磁，可利用有源逆变原理解决灭磁问题。

4. 励磁功率取自发电机定子主绕组的自激励磁方式

同步发电机发出的交流电，经整流装置变换成直流后，再供本身励磁者，称为自激励磁；励磁功率可取自发电机定子主绕组，也可取自副绕组。这里讨论前一种。

按功率引出方式的不同，自激励磁分自并激、自串激及自复激三种。自并激的励磁整流器，可直接或通过励磁变压器并联于机端；自串激的整流器，则由串联于定子绕组回路中的电流互感器或变压器的电流线圈供电；自复激则既含并激部分，也含串激部分。目前广泛用于中小型同步发电机的，以自并激和自复激为主。其中自并激应用最广。

自复激励磁方式，按复合位置分直流侧复合式与交流侧复合式两种；前者又分并联复合与串联复合，使用较多的是并联复合式。交流侧复合式类型较多，如电流、电压及变压器复合式等；目前应用较多的是电抗移相式（属电流复合）及变压器复合式。

(1) **自并激励磁方式** 如图1—4—6，发电机电枢绕组F发出的交流电，经励磁变压器LB变换到所需电压后（低压小容量机组有的无LB，直接从机端引入），再由可控硅整流器KGZ变换成直流，供励磁绕组LQ建立磁场；自动励磁调节器ZLT按发电机端电压变化自动调节励磁。ZLT所需发电机端电压信号，来自定子回路中的电压互感器LH；电压信号来自机端电压互感器YH，经测量变压器CB变换为所需之值。有的低压小容量机组，取消YH，将CB直接并联于机端。

主要特点:

①由于取消了直流励磁机这一隐患,与常规励磁比较,增大了运行可靠性,减小了维护工作量,机组总长、厂房高度(立式)或长度(卧式)皆可相应减小,并节省有色金属。

②与自复激方式比较,接线较简单,设备较少,运行维护较方便;

③励磁系统时间常数小,反应迅速;

④励磁电源受电网干扰影响较大,当发电机近端短路时,可控整流器将因电压过低不能正常工作而易于导致发电机失磁;

⑤只能按机端电压而不能直接按负载大小及性质自动调节励磁。

这种励磁方式一般适用于中、小型同步发电机,但不宜用于有大负载突然变化及有不同的时间分级保护的复杂电网中的机组。

(2) 直流侧并联复合的自复励励磁方式

图1—4—7的典型接线示意图中,除可控整流器KGZ及自动励磁调节器ZLT等构成的自并激部分外,尚有由串联在发电机定子电路中的复励变流器FLH供电、经复励整流器FZ变换成直流的串激部分。二者在直流侧复合后,向励磁绕组LQ供电。

主要特点:

励磁主电路中,取消了励磁机,其情况同上述自并激方式;时间常数小,反应迅速,调节灵敏;单机运行能按电压、并网运行能按本机容量及电网电压变化自动调节励磁;当发电机近端短路时,能迅速强励,不易失磁;励磁系统受电网干扰不大;与自并激方式比较,接线较复杂,设备较多;不带气隙的复励变流器FLH副边容易引起过电压,应加强保护;对于运行方式及负载变化大的小电站机组,一般运行人员难于根据运行需要,方便稳定而又准确地调节复励强度。这种励磁方式普遍适用于大、中、小型同步发电机。

(3) 交流侧复合的自复激方式 目前使用较多的是电抗移相式及变压器复合式两种。其中尚有可控与不可控之分。这种励磁方式,结构及接线简单,能按负载大小及性质自动保持端电压在一定水平上;带可控硅调节装置的变压器复合式,还能满足并网运行的要求。除后者适用于中、小型机组外,其余大都用于小型机组。

5. 励磁电源取自定子副绕组的励磁方式

这种励磁方式是在定子铁心槽内嵌放一组专供励磁用的单相或三相基波或谐波副绕组。由于主、副绕组共用定子铁心,取掉了结构复杂、制造维护麻烦的励磁机,也无自动励磁调节器,故接线简单,结构紧凑,容易制造,节省材料,运行可靠。但主副绕组共用铁心槽,不利于散热,亦影响副绕组的过电压保护。这种励磁装置不少为不可控整流,单机运行有自

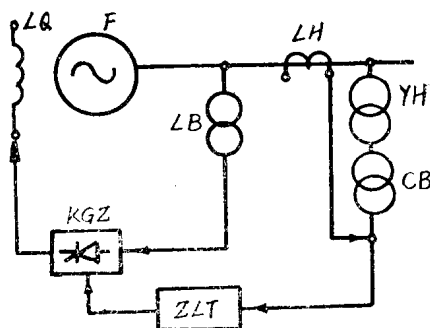


图1—4—6 自并激励磁系统典型接线示意图

F—发电机电枢绕组; LQ—励磁绕组; LB—励磁变压器; CB—测量变压器; YH—电压互感器; LH—电流互感器; KGZ—可控硅整流器; ZLT—自动励磁调节器

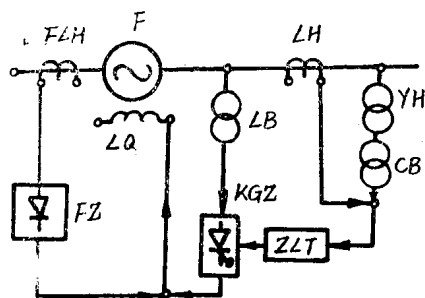


图1—4—7 直流侧并联复合的自复励接线示意图

FLH—复励变流器; Fz—复励整流器;
其余同图1—4—6

励恒压作用，一般能满足负载变化对电压的要求，但并列运行却存在不少问题。励磁电源的供电方式，主要有双绕组电抗分流式、负序补偿式及谐波励磁等。这种励磁方式主要用于低压小容量机组，供给远离电网的分散边远地区用户，作照明、广播及小型动力电源，以及小型厂矿、牧区、石油井场的自备电源等，宜于单机运行。

第二章 带直流励磁机的常规励磁系统

2—1 概 述

用直流发电机作励磁机的常规励磁方式，沿用至今一百余年，积累了相当丰富的制造、运行经验，而且日趋完善，行之有效，最为人们所熟悉。

这种励磁系统中的励磁机，中小型机组主要用并激直流发电机；他激式直流发电机具有较好的反应性能，但结构较复杂，主要用于大中型机组。随着机组容量的增大，由只带手动调节磁场变阻器的简单励磁电路，逐渐加入各种自动装置，进而完善到带自动励磁调节器的励磁系统。本章将从最简单的磁励电路谈起，分别引入强行励磁、强行减磁、自动灭磁及复式励磁等自动装置，形成比较完善的励磁系统。

2—2 小型低压同步发电机的常规励磁系统

图2—2—1中，主机励磁绕组FLQ由主机带动的励磁机L供电，L的励磁绕组LLQ则由L本身并联供电，LLQ电路中，串联磁场变阻器 R_{CB} 、手调 R_{CB} ，便可调节主机电压 U_F 。减小 R_{CB} ，励磁机的励磁电流 I_{LL} 增大，励磁机端电压 U_L 上升，主机励磁电流 I_{FL} 增加，于是 U_F 上升；增大 R_{CB} ，则 U_F 下降。

实际工作中，常遇到磁场变阻器 R_{CB} 由于不配套、缺件或损坏等原因，需要计算其应配电阻值 R_{CB} 和容量 P ，即

$$R_{CB} = 2 \left(\frac{U_{Le}}{I_{LLO}} - R_{LLQ} \right) \quad (\text{欧})$$

$$P = (1.2 \sim 1.3) I_{LLe}^2 R_{CB} \quad (\text{瓦})$$

式中 U_{Le} ——励磁机额定电压（伏）；

I_{LLO} ——励磁机空载 $U_L = U_{Le}$ 时，LLQ中的电流（安）；

I_{LLe} ——励磁机的额定励磁电流（安）；

R_{LLQ} ——LLQ的热态（75℃）直流电阻（欧）；

这种励磁电路是常规励磁方式中接线最简、设备最少的；若细心维护，使用得当，运行还是足够可靠的。但却存在如下问题：

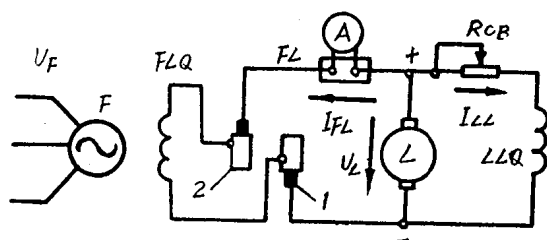


图 2—2—1 小型低压同步发电机的常规励磁系统电路图

F—同步发电机电枢绕组；FLQ—同步发电机励磁绕组；L—励磁机电枢绕组；LLQ—励磁机励磁绕组； R_{CB} —磁场变阻器； F_L —分流器；A—直流电流表；1—电刷；2—滑环