



普通高等教育“十二五”规划教材

发输电自动化

主 编 杨凌职业技术学院 曹利刚
主 审 西安理工大学 郭鹏程



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

013071497

TM76-43
10



普通高等教育“十二五”规划教材

发输电自动化

主 编 杨凌职业技术学院 曹利刚
主 审 西安理工大学 郭鹏程



北航

C1680435



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TM76-43

10

内 容 提 要

本书共分为 8 个模块, 每个模块又分为 3 个项目。主要介绍了同步发电机的并列、发电机励磁的自动调节、水电站辅助设备的自动控制、水轮发电机组的自动控制、水电站计算机监控系统、输电线路自动重合闸、备用电源自动投入装置、低频减载自动装置等内容。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校成立的二级职业技术学院机电设备运行与维护专业、水电站动力专业、电力系统自动化专业、供配电专业及相关专业的教学用书, 也可作为相关从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

发输电自动化 / 曹利刚主编. — 北京: 中国水利
水电出版社, 2013. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1209-2

I. ①发… II. ①曹… III. ①电力系统—自动化—高等
学校—教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第200482号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 发输电自动化
作 者	主编 杨凌职业技术学院 曹利刚 主审 西安理工大学 郭鹏程
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.25 印张 506 千字
版 次	2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	43.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前言

前言

本书是根据全国示范性职业技术学院建设工程——杨凌职业技术学院全国首批示范性职业技术学院建设方案的目标和要求,以培养应用、高技能人才为目标,以最新的国家标准、技术规范为依据,以学生的专业能力培养为落脚点,按照机电设备运行与维护专业人才培养方案的要求,结合编者多年的教学 and 实际从业经验编写而成的。

本书彻底打破了传统教材的纯理论教学体系。以“理论浅显,依靠理论设计简单的实验,在真实案例中丰富理论”为指导思想,采用了当前国外高职类最成熟、最流行的模块教学法和项目教学法。

本书分为8个模块,即同步发电机的并列、发电机励磁的自动调节、水电站辅助设备的自动控制、水轮发电机组的自动控制、水电站计算机监控系统、输电线路的自动重合闸、备用电源自动投入装置、低频减载自动装置。每个模块又分为3个项目和该模块的总结与思考题,第一个项目介绍本模块所包括的理论知识;第二个项目介绍与本模块理论知识相关的实验设计方法或典型实验;第三个项目介绍相关的典型案例分析与最终结论。

本书特色之一是:在每个模块的第一个项目里,首先详细介绍该模块内容的发展史,然后着重说明当前具体应用情况,最后分析该领域今后发展的方向。其目的是通过发展史的介绍,对学生产生浓厚的学习兴趣,让学生了解该领域的前沿知识和今后的发展方向。

本书特色之二是:在每个模块的第二个项目里,是相对比较深奥的实验设计方法或者现成的典型实验设计。旨在让学生借助实验设计的思想,应用所学理论知识进行简单设计,以达到对知识的活学活用之目的。

本书特色之三是:在每个模块的第三个项目里,详细介绍了国内外相关领域最新发生的典型案例,并附有案例分析过程和最终结论。旨在通过案例分析,让学生知道“理论指导实践”的巨大作用,从而进一步巩固、深化理论知识。

本书在编写过程中,参考了大量的专业教材、专业期刊、硕士论文、博士论文、会议录和标准等。绝大部分参考“中国知网”、“万方数据”和相关教材,能够查到文献的详细来源。也有一部分参考“百度文库”、NARI和重庆新世界电气有限公司的培训资料,这些都无法找到详细的来源,在此,对编写相关资料的作者表示衷心的感谢。还有一小部分内容参考了主编在本科和研究生阶段学习相关自动化课程时的课堂记录,在此,对华北水利水电学院和西安理工大学的相关老师也表示最诚挚的谢意。

本书由杨凌职业技术学院曹利刚老师担任主编并负责统稿,杨凌职业技术学院徐浩铭老师担任副主编。各项目编写分工如下:曹利刚编写模块1~模块3和模块5所有内容;杨凌职业技术学院汶占武老师编写模块4的项目10前三节所有内容;西安理工大学硕士研究生郭改琴编写模块4的项目10后两节、项目11和项目12所有内容;徐浩铭老师编

写模块 6 和模块 8 所有内容；杨凌职业技术学院孙小春编写模块 7 所有内容。西安理工大学郭鹏程副教授担任主审，并进行了全面而详细的审稿，提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2013 年 5 月

目 录

前言

绪论..... 1

模块 1 同步发电机的并列 4

项目 1 同步发电机并列的基本理论 4

1.1 同期方式 4

1.2 同期点的选择和同期电压的引入 6

1.3 准同期条件分析 9

1.4 手动准同期 11

1.5 自动准同期 13

1.6 自动自同期 15

1.7 数字式并列装置 18

项目 2 自动准同期装置设计 27

2.1 自动准同期并列工作原理 27

2.2 自动准同期并列装置硬件设计 27

2.3 自动准同期并列装置软件设计 28

项目 3 典型同期故障与分析 31

3.1 准同期故障与分析 31

3.2 非同期并网事件的分析与处理 32

模块 1 小结 34

思考题 34

模块 2 发电机励磁的自动调节 35

项目 4 发电机励磁的自动调节基本理论 35

4.1 发电机励磁系统发展与现状 35

4.2 发电机励磁系统的作用及分类 38

4.3 同步发电机励磁方式 43

4.4 同步发电机的晶闸管整流装置 51

4.5 灭磁系统 64

4.6 继电强行励磁、强行减磁 67

4.7 低励、过励限制 69

4.8 励磁系统维护 71

项目 5 励磁系统设计选型计算 73

5.1	自并励励磁系统设计选型计算	73
5.2	300MW 汽轮发电机组自并励励磁系统设计	79
项目 6	励磁系统典型案例分析	91
6.1	励磁系统故障分析及建议	91
6.2	两起同步电动机无刷励磁系统故障分析与处理	93
模块 2	小结	95
思考题		95
模块 3	水电站辅助设备的自动控制	97
项目 7	辅助设备自动控制的基本理论	97
7.1	控制系统中的自动化元件	97
7.2	辅助设备的压力控制系统	104
7.3	辅助设备的液位控制系统	111
7.4	主阀和蝶阀的自动控制系统	115
项目 8	辅助设备控制回路的简要设计	121
8.1	辅助设备控制回路设计的基本理论知识	121
8.2	单台供水泵的常规控制和 PLC 控制	127
8.3	YT-300 调速器油泵电机的自动控制	130
8.4	两台水泵电机自动控制	131
项目 9	典型案例与分析	134
9.1	某水电厂坝体渗漏排水泵故障分析与处理	134
9.2	某水电厂蝶阀关闭故障分析及处理方法	135
模块 3	小结	138
思考题		138
模块 4	水轮发电机组的自动控制	140
项目 10	机组自动控制的基本理论	140
10.1	机组自动控制的任务和要求	140
10.2	机组润滑、冷却及制动系统的自动化	146
10.3	机组操作的继电器自动程序控制	151
10.4	水轮发电机组开机和停机流程图	157
10.5	机组操作的 PLC 自动程序控制	162
项目 11	水轮发电机组电气制动系统范例	176
11.1	电气制动方案主接线方式	176
11.2	发电机参数及二极管三相整流桥介绍	176
11.3	电气制动流程	177
11.4	电气制动系统软件流程说明及框图	178
项目 12	典型案例分析——俄罗斯萨扬水电厂特大事故	180
模块 4	小结	181

思考题	182
模块 5 水电站计算机监控系统	183
项目 13 水电站计算机监控的基本理论	183
13.1 概述	183
13.2 水电站计算机监控系统的基本结构	186
13.3 水电站计算机监控系统的基本功能	193
13.4 水电站计算机监控系统的基本内容	197
13.5 水电站计算机监控系统的软件操作系统	198
13.6 水电站计算机监控系统的硬件操作系统	200
13.7 水电站计算机监控系统的最新技术和发展趋势	204
项目 14 典型多层分布开放系统设计	211
项目 15 大中型水电站计算机监控系统改造	216
模块 5 小结	218
思考题	219
模块 6 输电线路自动重合闸	220
项目 16 输电线路自动重合闸的基本理论	220
16.1 自动重合闸	220
16.2 单侧电源线路的三相一次重合闸	223
16.3 三相一次重合闸工作原理的分析和计算	229
16.4 双侧电源线路三相自动重合闸	232
16.5 自动重合闸与继电保护的配合	238
16.6 综合自动重合闸	240
16.7 微机型综合自动重合闸	245
16.8 自适应自动重合闸	250
项目 17 自动重合闸装置的 PLC 设计	253
项目 18 典型自动重合闸故障分析及措施	257
模块 6 小结	260
思考题	261
模块 7 备用电源自动投入装置	262
项目 19 备用电源自动投入装置的基本理论	262
19.1 备用电源自动投入装置	262
19.2 备用电源自动投入装置的工作原理及接线	267
19.3 微机型备用电源自动投入装置	272
项目 20 备用电源自动投入装置 PLC 接线设计	275
项目 21 典型备用电源自动投入装置故障分析及措施	279
模块 7 小结	282
思考题	283

模块 8 低频减载自动装置	284
项目 22 低频减载自动装置的基本理论	284
22.1 低频减载自动装置	284
22.2 低频减载自动装置的工作原理	288
22.3 低频减载自动装置的整定计算	290
22.4 低频减载自动装置的接线	292
22.5 微机型低频减载自动装置	296
22.6 防止低频减载自动装置误动作措施	297
项目 23 孤立小受端系统的低频减载系统设计	299
23.1 低频减载 (UFLS) 方案及原理	299
23.2 孤立小受端系统中频率紧急控制必须解决的特殊问题	301
23.3 仿真验证	304
项目 24 典型低频减载自动装置故障分析及措施	306
模块 8 小结	310
思考题	311
参考文献	312

绪 论

我国是矿产资源丰富的国家,煤炭资源总量为 5.6 万亿 t,居世界第三位。其中已探明的储量为 1 万亿 t,占世界总储量的 11%。全国除上海外,其他省(自治区、直辖市)均有探明的储量。从地区分布看,储量主要集中分布在山西、内蒙古、陕西、云南、贵州、河南和安徽,七省储量占全国储量的 81.8%,分布呈现北多南少、西多东少的特点。

根据 2003 年全国水力资源复查成果,我国水力资源理论蕴藏量在 1 万 kW 及以上的河流共有 3886 条,水力资源理论蕴藏量 60829 亿 kW·h/年,平均功率为 6.94 亿 kW,技术可开发装机容量 5.42 亿 kW,年发电量 24740 亿 kW·h。我国水力资源总量居世界首位,理论蕴藏量和技术可开发量分别占全球总量的 15%和 17%。

我国有金沙江、长江上游、澜沧江干流、雅砻江、大渡河、怒江、黄河上游、红水河、东北三省、湘西、乌江、闽浙赣和黄河北干流共计 13 大水电基地。其可开发装机容量约 2.89 亿 kW,年发电量 11106 亿 kW·h,分别占全国水电技术可开发量的 53.32%和 44.89%。

截至 2011 年底,全国发电装机容量 10.5 亿 kW,其中,火电 7.6 亿 kW,水电 2.3 亿 kW,核电 1191 万 kW,风电 4700 万 kW。火电装机容量占全国装机容量的 72.38%,水电装机容量占全国装机容量的 21.83%。我国东部地区水力资源开发利用程度已达 66.0%,中部地区水力资源开发利用程度达到 76%,而西部地区水力资源开发利用程度只有 15%。尤其是水力资源富集西部,主要流域开发利用程度还很低,水力资源开发利用前景十分广阔。

随着社会的快速发展,我国电力系统的规模日益扩大,系统的运行方式变化也越来越频繁,发输电设备的自动化程度也越来越高。我国电网已经形成了以三峡电站为中心,辐射四方,西电东送,南北互供,全国联网的局面。

为了保证发电和输电的安全可靠,保证电能质量,提高电网的经济效益,必须借助于发电站自动控制设备和电力系统自动装置来实现,这是因为它可以:①提高供电的可靠性;②提高电能的质量;③减少系统的备用容量,提高设备的利用率;④合理利用动力资源,提高系统运行的经济性。

一、发输电自动化的内容

发输电自动化的目的在于全面提高发电和输电的可靠性、确保电能质量、减少系统误动作、确保电网的安全经济运行。经过多年的发展,计算机监控技术已基本成熟,在国内的大中型电站都能做到在中央控制室集中操作,甚至有相当一部分大中型水电站已经实现了远程控制。随着输电电压等级的不断提高,输电线路的自动控制技术也得到了很快发展。发输电自动化的具体内容可概括如下:

- (1) 实现机组的自动同期并列,确保并网的可靠性。
- (2) 通过自动调节发电机励磁装置,控制发电机的无功出力。
- (3) 自动调节转速,改变机组的整定值,控制机组的有功出力。
- (4) 当油压装置内油压不正常下降时,用自动投入备用油泵的方法来保持油压在一定的



范围内。

- (5) 当排水系统或技术供水系统水位不正常时,自动投入备用水泵。
- (6) 当压力油槽的气压降低到下限,具有自动补气功能。
- (7) 当发生发电机轴承或油槽的油温升高、油槽及油压装置的油位不正常、冷却水中断、设备过负荷等不正常情况时,发出警报信号。
- (8) 当推力轴承及导轴承过热超过允许值、轴承失去润滑油、油压装置中油压发生事故性下降,机组过速、发电机短路等故障时,机组紧急停机,并自系统切除。
- (9) 当发生紧急事故停机时,具有自动关闭进水口闸门的功能。
- (10) 压缩空气系统、集水井排水泵等全厂公用设备能自启动和停止。
- (11) 实现坝后水位自动检测功能。
- (12) 实现自动开机、停机、发电转调相、调相转发电、对于抽水蓄能电站实现发电转抽水和抽水转发电的自动控制。
- (13) 自动监视常用主电源和备用电源的电压,当常用电源事故切除后,备用电源能自动投入。
- (14) 根据具体情况,决定在输电线路装设自动重合闸或自同期重合闸装置。
- (15) 实现按频率自动减负荷功能。
- (16) 自动显示实时发电各种参数,并作简单分析。

二、发输电自动化的目的和意义

通过对电站、输电线路的各种设备信息进行采集、处理,实现自动监视、控制、调节、保护,从而保证各设备安全稳定运行,保证电能的质量,减少运行与维护成本,改善运行条件,实现无人值班或少人值守。

(1) 减员增效,改革电站值班方式。发输电自动化的实现,使运行值班人员对设备的操作工作量大大减少,减轻了人员的劳动强度,减少了电站的人员数量,使电站实现少人值守或无人值守。

对电站运行人员的职能进行转变,把运行人员从对电站设备的操作向对电站设备的管理进行转化,使电站运行人员把更多的时间和精力花在电站设备的维护保养上,保证电站设备的可用性及完好性,延长电站设备的使用寿命及检修周期。发输电自动化实现后,富余出来的人员则可进行轮流培训,以提高对电站的运行管理水平,还可为电站从事多种经营、第三产业创造条件,充分开发电站的资源,为电站增加经济效益。

(2) 优化运行,提高电站发电效益。发输电自动化的实现,使电站自动控制系统能按优化运行方案给机组分配有功功率和无功功率,让机组运行在高效率区。

对一个电站来说,有了优化运行,就可以给电站带来直接经济效益,其意义也相当大。根据国内外资料表明,在水电站实行优化运行可最大限度地利用水能,水能利用率能提高3%~5%。如果从机组的角度来看,相当于机组的效率提高了3%~5%。

(3) 竞价上网,争取水电上网机会。水电站采用计算机控制系统可加快水电站机组的控制调节过程。比如,机组开机过程,采用人工操作,光是机组并网这一环节,有的机组经10多min都并不了网,运行操作人员精神高度集中紧张,弄不好还可能发生非同期合闸,给电网和机组带来冲击。采用计算机控制系统、自动控制装置并网,机组的频率、电压自动迅速跟踪电网的频率、电压,当频率、电压、相位差满足并网合闸要求后,机组自动并网,



并网时间很短,一般只需 2min 左右即可解决问题,时间短的只需 30s 就可并网。

(4) 可靠运行, 保证电网的稳定。发电自动化装置减少了运行人员直接操作的步骤, 从而大大降低了误操作的可能性, 避免了运行人员在处理事故的紧急关头发生误操作, 保证了电站设备运行的可靠性, 从而也保证了电网运行的可靠性。在设备可靠运行的情况下, 计算机监控系统能自动控制发电机组频率和电压, 并根据电力系统调度要求, 自动调节发、供、用电的平衡, 保障了电站发出的电能质量和电网运行的稳定性。

输电自动化装置实现了遥控、遥测、遥信、遥调功能，取代了传统变电站的预告信号、事故音响、仪表检测的作用；实现远方监控，取代了传统的有人值守模式；能够迅速而正确地收集、检测和处理电力系统各元件、局部系统或全系统的运行参数；提高了系统的运行可靠性，即保证了用电可靠性。比如，自动重合闸可使线路开关瞬间故障跳闸后在瞬间自动重合，不影响用电。

(5) 避免事故, 确保用电可靠。发输电自动化装置不仅能节省人力, 减轻劳动强度, 而且还能减少电力系统事故, 延长设备寿命, 全面改善和提高运行性能, 特别是在发生事故的情况下, 能避免连锁性事故发展和大面积停电; 使一个重要用户有两路甚至三路电源, 确保用电安全可靠, 一路电源故障跳闸后, 另一路可瞬时自动投入运行。

模块 1 同步发电机的并列

【学习目标】 了解自同期和准同期的区别和优、缺点；能根据实际接线合理选择同期点，并会进行同期电压的引入；掌握准同期并列的三个理想条件；能识读手动准同期接线图；了解 ZZQ5 型自动准同期装置的各部分主要作用；掌握各种同期方式使用的场合；了解数字并列装置的工作原理。

【学习重点】 自同期和准同期方式的特点及准同期并列的理想条件。

【学习难点】 识读手动准同期接线图。

项目 1 同步发电机并列的基本理论

1.1 同期方式

1.1.1 同期装置发展的历史

随着工业社会的不断发展，电力行业显得越加重要，而同期并列是电力系统中经常进行的一项十分重要的操作，不合理的并列方式会给系统造成巨大的冲击而损坏电器设备，影响电力系统的稳定性，甚至可能造成人员的伤亡。

电力系统的同期并列方式有自同期并列和准同期并列两种，自同期并列主要用于水轮发电机，作为处理系统故障的主要措施之一。但由于自同期可能造成较大的冲击，不利于系统的稳定，因此使用的场合并不多。准同期则是常用的并列方式，我国是世界上微机准同期装置最早研制的国家之一，1982 年在安徽陈村水电站成功投入了第一台微机装置，陆续中国又推出了一些类似装置。目前，国内有许多科研、制造单位都在进行微机自动准同期的研制。

准同期的发展经历了以下三代产品：第一代，在 20 世纪 60 年代以前，我国大多采用“旋转灯光法”进行准同期并列操作，这是最原始的准同期方法。后来改用指针式电磁绕组的整步表构成的手动准同期装置，这种方式仍然应用在常规的设计中。第二代准同期装置是以许继的 ZZQ3 和 ZZQ5 为代表的模拟式自动准同期装置。它用分离晶体管搭建硬件电路，对同期电路进行检测和处理。ZZQ3 和 ZZQ5 自动准同期装置的出现，极大地提高了并网速度和可靠性，但由于模拟式同期装置用模拟电子元件拟合，必然带来诸如导前时间不稳定、阻容电路作为微分电路的条件约束、构成装置元器件参数漂移不稳定等问题。模拟式的同期装置合闸准确度比较低，无法指示装置的运行状态，也不能进行故障自检等，现在已经基本被淘汰。第三代准同期装置是微机式自动准同期装置，微处理器的诞生对自动准同期装置技术指标的提升产生了质的飞跃，深圳市智能设备开发有限公司研制的 SID·II 系列多功能微机自动准同期装置比较具有代表性。它是我国最早从事微机准同期装置控制器研究、开发、



生产的企业之一，相继推出了 QSA 型、SID·I 型、SIA·II 型、SID—2V 系列线路用微机准同期控制器，具有高精度、高可靠性、人机界面友好、接线简单易懂等优点。在提高并网速度和可靠性的同时，大大提高了合闸的准确度。

1.1.2 同期并列的基本概念

在电力系统中，并列运行的各同步发电机转子以相同的电角速度旋转，各发电机转子间的相角差不超过允许的极限值，发电机出口的折算电压近似相等，只有满足这些条件，电力系统中的发电机才能并列运行。此时，发电机在系统中的运行又称为同步运行。

同步发电机经常要投入或退出系统，一台发电机在未并入系统运行之前，它与系统中其他发电机是不同步的。待并发电机的电压与运行系统并列点母线电压一般不相等。因此需对待并发电机组进行适当的操作，使之符合并列条件后，才允许将断路器合闸，与系统并列运行，这一系列的操作称为并列操作或同期操作。

同步发电机组的并列操作非常重要，任何不当的操作都可能危害发电机组，甚至引起系统的不稳定运行。提高操作的准确度和可靠性，对电力系统的可靠并列运行具有极大的现实意义。

为了保证电力系统的安全运行，同步发电机的并列操作应满足两个基本要求：首先，并列瞬间，发电机的冲击电流不应超过规定的允许值；其次，并列后，发电机应能迅速进入同步运行。

1.1.3 同期并列重要意义

同步发电机乃至各个电力系统联合起来并列运行，可以带来很大的经济效益。不仅可以提高供电的可靠性和电能质量，而且也可使负荷分配更加合理，减少系统的备用容量和充分利用各种动力资源，以达到经济运行的目的。

1.1.4 同期的两种基本方式

同期并列操作的方式有两种，即准同期和自同期。

1. 准同期并列方式

将未投入系统的发电机加上励磁，并调节其电压和频率，在满足并列条件（即电压和频率与系统相等、相位相同）时将发电机断路器合闸，发电机与系统并列运行。这样的方式称为准同期方式。

准同期并列方式的最大优点是：如果在理想的情况下使断路器合闸，则发电机定子回路的电流将为零，这样将不会产生电流或电磁力矩的冲击。但是，在实际的并列操作中，很难实现上述的理想条件，总要产生一定的电流冲击和电磁力矩冲击。一般说来，只要这些冲击不大，不超过允许范围，就不会对发电机产生什么危害。另外，突然三相短路是发电机设计制造时必须加以考虑的条件。

准同期并列方式的缺点是：当出现非同期并列时，可能使发电机遭到破坏。如果在发电机和系统间的相位差等于 180° 时非同期合闸，那么发电机定子绕组的冲击电流将比发电机出口的三相短路电流大 1 倍。造成非同期并列的主要原因有：二次接线出现错误；同期装置动作不正确；运行人员误操作等。

2. 自同期并列方式

将未励磁而转速接近运行系统同步转速的发电机投入系统，并立即（或经一定时间）加上励磁借助电磁力，待并发电机经很短的时间便被自动拉入同步，这样的方式称为自同期并



列方式。

自同期并列方式最大的优点是：由于待并发电机在投入系统时未励磁，故这种并列方式从根本上消除了非同期并列的可能性；同时，并列操作比较简单，不存在调节和校准电压和相角的问题，只需调节发电机的转速；此外，自同期方式还可大大缩短并列所需时间，特别是系统发生事故时，尽管频率和电压波动很大，但机组依然能迅速投入运行。

自同期并列方式的缺点是：用自同期并列方式投入发电机时，将伴随着出现短时间的电流冲击，并使系统电压下降。冲击电流引起的电动力可能对定子绕组绝缘和定子绕组端部产生不良影响；冲击电磁力矩也将使机组大轴产生扭矩，并引起振动。

一般说来，冲击电流和冲击电磁力矩均比发电机出口突然三相短路时小，且衰减较快。值得注意的是，发电机突然三相短路很少发生，而并列操作要经常进行，如果经常使用自同期并列方式，冲击电流产生的电动力可能对发电机定子绕组绝缘和端部产生积累性变形和损坏。

综上所述，两种并列方式各有优缺点。水电站一般以自动准同期作为发电机正常时的并列方式，以手动准同期作为备用，并均带有非同期闭锁装置。至于自同期，则主要用作事故情况下的并列方式，且一般均采用自动自同期并列，同时要求发电机定子绕组的绝缘及端部固定情况应良好，端部接头应无不良现象。

1.2 同期点的选择和同期电压的引入

1.2.1 同期点的概念

为了实现与系统的并列运行，水电站必须有一部分断路器由同期装置来进行并列操作（即同期合闸），这些用于同期并列的断路器，即称为同期点。一般情况下，如果一个断路器断开后，两侧都有电源且可能不同步，则这个断路器就应该是同期点。

1.2.2 同期点的选择原则

一个水电站的同期点往往是很多的，同期点选择的一般原则如下：

(1) 发电机的所有断路器都应该是同期点，因为各发电机的并列操作一般都是在各自的断路器上进行的；发电机与变压器间不设断路器的发电机—变压器单元接线，其同期点应设在变压器高压侧断路器上。

(2) 三绕组变压器或自耦变压器与电源连接的各侧断路器均应作为同期点，这样，当任一侧断路器因故障断开后，便可用此断路器进行并列操作而恢复并列运行；低压侧与母线连接的双绕组变压器一般应有一侧断路器作为同期点，以便在变压器投入运行时进行并列操作。

(3) DL/T 5081—1997《水力发电厂自动化设计技术规范》，如果双绕组变压器只有一侧作为同期点，那么不作为同期点的一侧断路器合闸回路应经另一侧断路器的常闭辅助触点闭锁。

(4) 接在单母线上的对侧有电源的线路断路器均应作为同期点；接于双母线的对侧有电源的线路，可只考虑利用旁路断路器或母线联络断路器进行并列，线路断路器不作为同期点。但对要分裂成两个单独系统运行的双母线和 35kV 及以上电压等级的系统主要联络线，则线路断路器应作为同期点。

(5) 母线分段、联络断路器及旁路断路器均应作为同期点；多角形接线和外桥形接线



中,与线路相关的两个断路器均应作为同期点; $\frac{3}{2}$ 接线的所有断路器均应作为同期点;全厂只有一条线路时,线路断路器可不作为同期点。

1.2.3 同期电压引入

采用准同期方式并列时,需比较待并发电机与系统的电压、频率和相位。为此需将待并侧和系统的电压引至同期装置,以便进行比较判断。引入同期装置的电压通常取自不同的电压互感器。

在水电站中,升压变压器一般采用 Y/ Δ -11 接线,这种变压器两侧相应电压的相位是不同的。由于用来取得同期电压的互感器可能安装在不同的地方,有的安装在发电机电压侧,有的安装在升高电压侧,且互感器本身也有各种不同的接线,因此可能出现这种情况,即从互感器二次绕组取得而引入同期装置的电压相位,与同期点两侧待并发电机和系统的实际电压相位不符,这样就可能造成非同期合闸。为了避免这种情况,必须保证从互感器取得的电压相位与同期点两侧实际的电压相位相符。下面分不同情况加以讨论。

1. 发电机断路器同期点

发电机断路器同期点两侧的电压可取自其两侧互感器的基本二次线圈,如图 1.1 所示。当发电机出口互感器为 V/V 接线时,同样可从其二次线圈取得相应的电压。显然,此时互感器反应的电压相位与同期点两侧待并发电机及系统电压的相位相符。

母联及分段断路器、断路器和变压器之间装有电压互感器的变压器低压侧断路器的同期点,其两侧电压的引入方式与上述情况相似。

2. 变压器高压侧断路器同期点

升压变压器的高压侧断路器为同期点时,其两侧电压需取自安装在变压器高、低压侧的互感器。就 Y/ Δ -11 接线的变压器而言,其两侧相应相间电压存在 30° 的相位差。这样,为了使从高、低压侧互感器取得的电压相位与同期点两侧电压的相位相符,就应对引入同期装置的电压相位加以校正。

在中性点直接接地系统中,为了校正引自互感器电压的相位,可从变压器高压侧互感器接成开口三角形的线圈取得电压,如图 1.2 所示。这样,引至同期装置的电压便可与同期点断路器两侧的电压的相位相符。

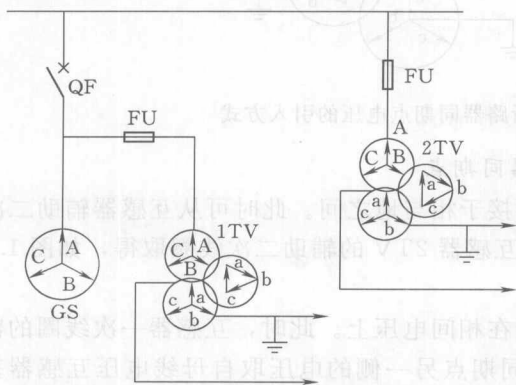


图 1.1 发电机断路器同期电压引入方式

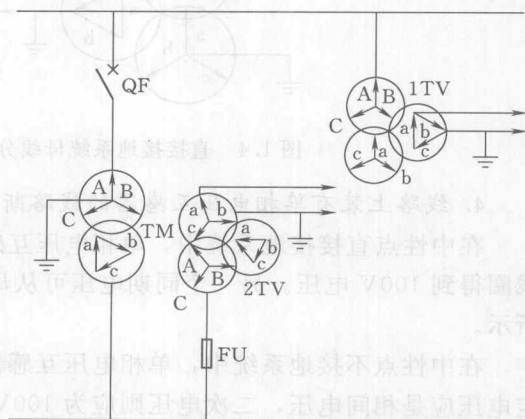


图 1.2 Y/ Δ -11 接线变压器高压侧断路器同期点电压的引入方式

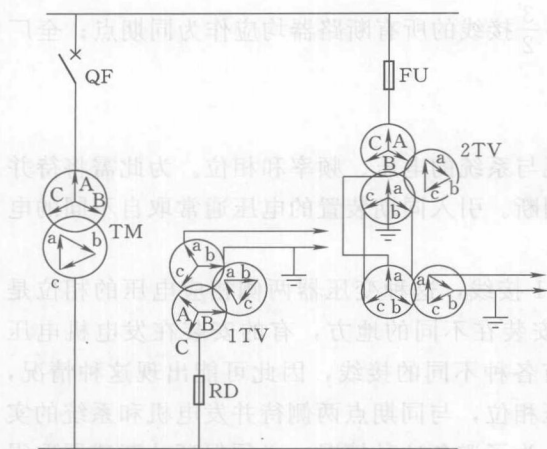


图 1.3 通过转角变压器引入同期点电压

对于中性点不接地系统，为了校正相位，通常采用中间转角变压器。转角变压器接于高压侧互感器的二次线圈，应是 Y，d11 接线，变比为 $\frac{100}{\sqrt{3}}/100\text{V}$ ，转角变压器也可接于低压侧互感器的二次绕组，此时应是 D，y1 接线，变比为 $100/\frac{100}{\sqrt{3}}\text{V}$ ，如图 1.3 所示。

在同期接线中，为了简化接线和减少同期开关档数，通常将 B 相接地，而有的保护（如线路距离保护）则要求互感器基本二次线圈的中性点接地，这样就产生了矛盾。若将转角变压器接于低压侧互感器，则高压侧互感器的上述矛盾无法解决。为此，一般将转角变压器接于高压侧互感器。此时，在转角变压器的二次侧将 B 相接地，从而使上述矛盾得到了解决。

注：电力工业部电安生 [1994] 191 号文《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》，电压互感器二次侧如为星形接线，应将中性点接地、B 相接地方式宜取消。

3. 母联和分段断路器同期点

当母联和分段断路器同期点电压的引入方式与继电保护的接地要求发生矛盾时，可从辅助二次线圈取得电压，如图 1.4 所示。在 110kV 及以上中性点直接接地系统中，一般即用此方法取得同期电压。

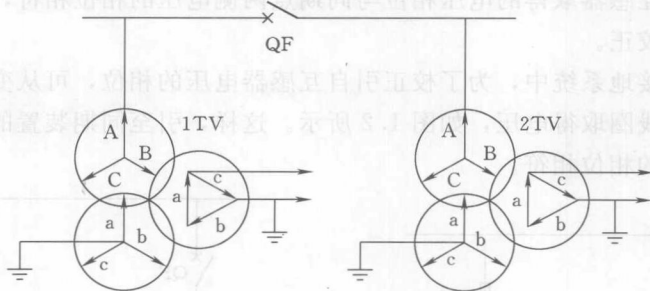


图 1.4 直接接地系统母线分段断路器同期点电压的引入方式

4. 线路上装有单相电压互感器的线路断路器同期点

在中性点直接接地系统中，单相电压互感器接于相与地之间。此时可从互感器辅助二次线圈得到 100V 电压。另一个同期电压可从母线电压互感器 2TV 的辅助二次线圈取得，如图 1.5 所示。

在中性点不接地系统中，单相电压互感器接在相间电压上。此时，互感器一次线圈的额定电压应是相间电压，二次电压则应为 100V。同期点另一侧的电压取自母线电压互感器基本二次线圈的相应相间电压。当与继电保护接地要求发生矛盾时，同样可通过单相隔离变压器取得同期电压。中性点不接地系统线路断路器同期点电压引入方式如图 1.6 所示。