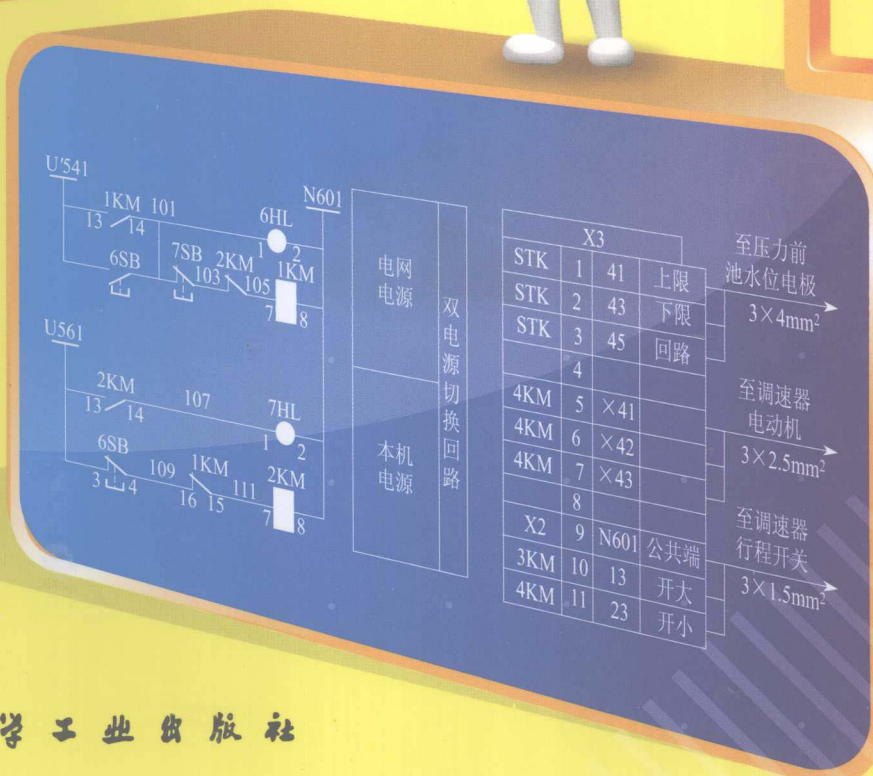
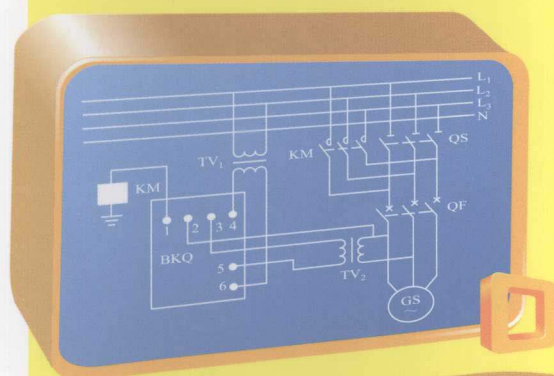


小水电

XIAOSHUIDIAN
SHIYONG KONGZHI
DIANLU XIANGJIE

实用控制电路 **详** **解**

方大千 诸葛建纲 等编著



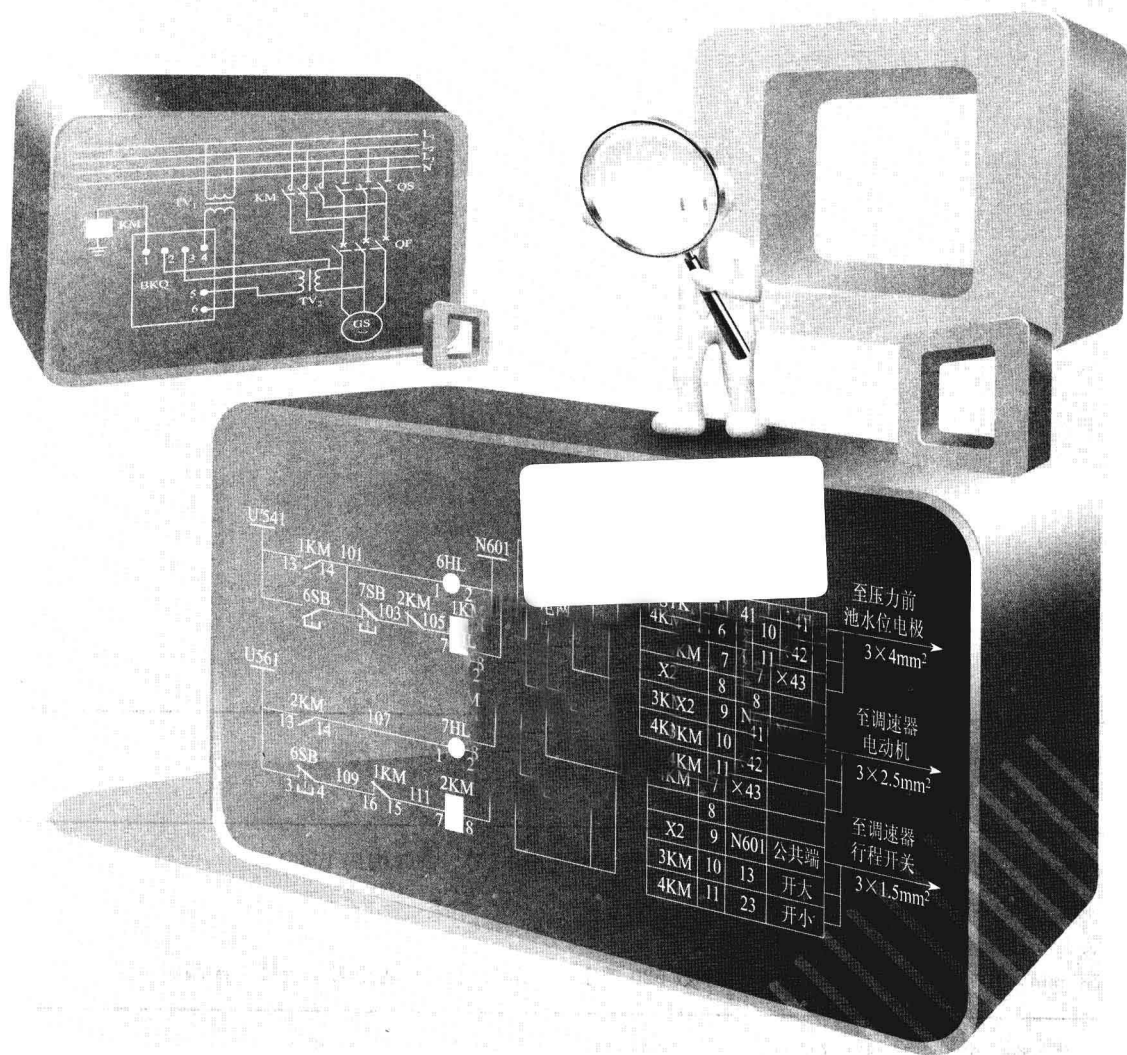
化学工业出版社

小水电

XIAOSHUIDIAN
SHIYONG KONGZHI
DIANLU XIANGJIE

实用控制电路详解

方大千 诸葛建纲 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

小水电实用控制电路详解/方大千, 诸葛建纲等编著.
北京: 化学工业出版社, 2012.2
ISBN 978-7-122-12944-4

I. 小… II. ①方…②诸葛… III. 小型-水力发电
站-控制电路-研究 IV. TV742

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 250682 号

责任编辑: 高墨荣
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 520 千字 2012 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

小水电实用控制电路 详○解

小水电是我国积极提倡开发的可再生能源（必须保护好生态环境）。全国拥有约 20 万座小水电站。小水电站的装备水平和从业人员的技术水平事关电站的安全、可靠、经济运行，也直接关系到电网的安全。当前小水电站电工及职工的业务水平尚不能很好地适应现代电工、电子技术的发展，电站故障分析、排除能力不尽如人意。如果在丰水期电站发生故障（丰水期更容易发生故障）而不能及时排除，甚至要请提供设备的厂家前去处理，将严重地影响电站的经济效益；如果电站的装备有缺陷，设备选型不当，保护不完备，保护值设置不当，不仅严重威胁到电站自身的安全，还会威胁到电网的安全。因此，努力提高小水电站的装备水平和电工、值班人员的技术水平事关重大。

本书紧密联系当前小水电站的实际，较系统全面地介绍了小水电站所涉及的水轮发电机及各类电气设备的实用电气控制电路。详细地介绍了每个电路的工作原理、元件参数选择，以及装置的技术性能。书中的电路类型较全、实用性强，所介绍的装备强调先进性。读者通过本书的学习能开拓视野，了解电站各类电气设备的控制电路，并大大提高读图能力。读者一旦掌握电气控制电路的工作原理，便能正确地分析、判断设备故障的原因，有的放矢地找出故障点，迅速排除故障。另外，读者通过学习本书中有关电工、电子的基本电路和应用电路，可以灵活地应用到电站实际中去，以提高电站的技术装备水平，使电站运行更加安全、可靠和经济。

本书编者从事小水电产品开发、设备安装、调试、检修等工作十多年，对小水电站的基本状况和人员技术素质有较深了解，因此本书具有较强的针对性、实用性和先进性。书中的名词术语、电气图形符号和文字符号均采用国家标准。

本书主要由方大千、诸葛建纲编写，参加本书编写工作的还有方成、方立、朱丽宁、方亚平、方亚敏、朱征涛、张正昌、张荣亮、许纪秋、那宝奎、费珊珊、卢静、方欣、那罗丽等。全书由方大中、郑鹏高级工程师审校。

限于编者的经验和水平，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

Chapter 1 第一章 水轮发电机并列运行及控制电路 / 1

第一节 同步发电机并列运行电路 / 1

- 一、同步发电机并列运行的条件 / 1
- 二、准同期并列电路 / 2
- 三、粗同期并列电路 / 4
- 四、自同期并列电路 / 6
- 五、BKQ 系列自动并列控制器 / 8
- 六、STK-W-3 型微机控制器 / 10
- 七、PTQ2000A1 型微机智能准同期控制器 / 14
- 八、PTQ2000B1 型微机智能准同期控制保护器 / 16

第二节 水轮发电机控制柜电路 / 18

- 一、简易的小型发电机控制柜电路 / 18
- 二、BKSF-□2 系列发电机控制柜电路 / 19
- 三、BKSF-□2A 系列发电机控制柜电路 / 23
- 四、BKSF-W、BKSF-H、BKSF-AW 和 BKSF-AH 系列三合一控制柜简介 / 27
- 五、自动化控制柜简介 / 31

Chapter 2 第二章 小水电保护电路 / 34

第一节 水轮发电机保护电路 / 34

- 一、采用水电阻防止水轮发电机飞车保护电路 / 34
- 二、采用电动调速机构的飞车保护电路 / 35
- 三、采用过电压继电器的飞车保护电路 / 36
- 四、小型发电机过电流和过电压保护电路 / 37
- 五、小型发电机超速保护和失磁保护电路 / 38
- 六、PLB-1 型发电机过流、过压保护器简介 / 40
- 七、PLB-2 型发电机综合保护器简介 / 41
- 八、防止小水电站过电流保护，越级跳闸电路 / 44
- 九、发电机低电压启动的过电流保护电路 / 45
- 十、发电机纵差动保护电路 / 47

第二节 小水电站变压器保护电路 / 49

- 一、变压器气体保护电路 / 49
- 二、升压变压器纵差动保护电路 / 51
- 三、升压变压器复合电压启动的过电流保护电路 / 51
- 四、电站自用变压器电流速断保护电路 / 52
- 五、电站厂用变压器反时限过电流保护电路 / 53

- 六、电站厂用变压器混合型保护电路 / 53
- 七、变压器跌落式熔断器及熔丝的选择 / 54
- 第三节 送电线路保护电路和电站防雷保护 / 57
 - 一、定时限和反时限过电流保护电路 / 57
 - 二、电流速断保护电路 / 58
 - 三、送电线路自动重合闸装置 / 59
 - 四、小水电站的防雷保护 / 60

Chapter 3

第三章 发电机励磁电路 / 63

- 第一节 基础电子电路 / 63
 - 一、常用整流电路 / 63
 - 二、常用晶闸管整流电路 / 64
 - 三、晶体管基本电路及保护电路 / 68
 - 四、三端固定集成稳压器的典型电路 / 72
 - 五、555 时基集成电路 / 73
 - 六、运算放大器及其保护电路 / 75
 - 七、微分电路和积分电路 / 78
- 第二节 晶闸管及其保护电路 / 78
 - 一、晶闸管及其触发方式 / 78
 - 二、晶闸管过电压保护 / 80
 - 三、晶闸管过电流保护 / 84
- 第三节 晶闸管触发电路 / 86
 - 一、晶闸管对触发电路的基本要求 / 86
 - 二、单结晶体管触发电路 / 87
 - 三、单结晶体管宽脉冲触发电路 / 91
 - 四、晶体管触发电路 / 91
 - 五、经脉冲变压器输出的小晶闸管触发电路 / 92
 - 六、光耦合器及其触发电路 / 95
 - 七、触发电路的输出环节 / 98
- 第四节 发电机励磁装置电路 / 99
 - 一、发电机励磁方式的选择 / 99
 - 二、KL-25 型晶闸管励磁装置 / 101
 - 三、TLG1 系列晶闸管励磁装置 / 102
 - 四、TKL15 型晶闸管励磁装置 / 105
 - 五、TWL-II 型无刷励磁调节器 / 109
 - 六、TWL-B 型无刷励磁调节器 / 111
 - 七、PXL-2 型全数字无刷励磁调节器 / 112
 - 八、JZLF-11F 型晶闸管励磁装置 / 115
 - 九、JZLF-31F 型晶闸管励磁装置 / 118
 - 十、KGLF-31F3 型晶闸管励磁装置 / 120
 - 十一、FKL-32 型晶闸管励磁装置 / 123
 - 十二、三次谐波晶闸管励磁装置 / 124
 - 十三、基波、谐波混合励磁装置 / 128

- 十四、JL-2SCRC 型励磁调节器 / 129
- 十五、采用 CJ-12 型励磁调节器改造老式励磁系统的接线 / 129
- 十六、手动励磁调节器的设计 / 132
- 十七、PDW-1 型数字电位器及接线 / 134

Chapter 4

第四章 继电器、接触器电路 / 136

第一节 常用保护继电器内部接线及电路 / 136

- 一、电流、电压继电器 / 136
- 二、中间继电器 / 138
- 三、时间继电器 / 141
- 四、信号继电器和接地继电器 / 142
- 五、闪光继电器 / 144
- 六、冲击继电器 / 146

第二节 继电器、接触器控制电路 / 149

- 一、常用的典型继电-接触器控制电路 / 149
- 二、继电器应用范围扩展的接线 / 149
- 三、继电器的代用与参数换算 / 153
- 四、经济的继电器 / 154
- 五、固体继电器 / 154
- 六、固体继电器保护元件的选择 / 157
- 七、将低工作电压的直流继电器用于交流 220V 的电路 / 158
- 八、单按钮控制通断的继电器电路 / 159
- 九、利用热敏电阻防止继电器触点竞争的电路 / 161
- 十、直流电磁阀通断快速响应的控制电路 / 162
- 十一、继电器、接触器长线控制电路 / 163
- 十二、提高继电器、接触器触点控制系统可靠性的电路 / 165
- 十三、交流接触器低电压启动电路 / 167
- 十四、单线控制三台用电器具的电路 / 167

第三节 加速、延缓动作的电路 / 168

- 一、直流继电器延缓释放电路 / 168
- 二、直流继电器加速吸合电路 / 171
- 三、直流继电器加速释放电路 / 171
- 四、直流继电器延时吸合电路 / 173
- 五、交流失压继电器延时释放电路 / 173
- 六、直流电磁铁强励磁快速吸合电路 / 173
- 七、直流电磁铁、继电器强励磁快速释放电路 / 175
- 八、直流电磁铁快速消磁电路 / 176
- 九、三种基本的晶体管延时电路 / 176
- 十、充电式延时电路 / 178
- 十一、放电式延时电路 / 181
- 十二、放电式前记忆电路 / 182
- 十三、充电式前记忆电路 / 183
- 十四、放电式后记忆电路 / 183

十五、充电式后记忆电路 / 184

第四节 消火花电路及保护电路 / 184

一、继电器、接触器、电磁铁消火花电路 / 184

二、一种简单的电磁铁过电流保护电路 / 189

三、晶体管电子继电器元件参数的选择 / 189

第五节 继电器、接触器节电电路 / 190

一、继电器吸合后工作电流减小的节电电路 / 190

二、电容式交流接触器直流运行电路 / 193

三、变压器式交流接触器直流运行电路 / 195

四、交流电磁铁直流运行电路 / 197

Chapter 5

第五章 灭磁开关、断路器及操动机构控制电路 / 198

第一节 灭磁开关控制电路 / 198

一、同步发电机灭磁原理 / 198

二、BT9404 型灭磁开关控制电路 / 198

三、DW10M 型灭磁开关控制电路 / 199

四、DW16M-630 型灭磁开关控制电路 / 201

五、DM2-2500 型灭磁开关控制电路 / 202

第二节 断路器及操动机构控制电路 / 203

一、交流操作断路器跳闸、合闸电路 / 203

二、直流操作断路器跳闸、合闸电路 / 205

三、带防跳跃装置的断路器控制电路 / 206

四、交流操作回路的防跳跃电路 / 207

五、手动操作的断路器控制、信号电路 / 208

六、弹簧操动的断路器控制、信号电路 / 208

七、电磁操动的断路器控制、信号电路 / 209

八、CT7 型操动机构一次重合闸电路 / 210

九、CT8 型弹簧操动机构控制电路 / 210

第三节 低压断路器控制电路 / 212

一、天津产 DW15-200~630A 断路器电磁铁吸合储能合闸电路 / 212

二、上海产 DW15-200~630A 断路器电磁铁吸合储能合闸电路 / 214

三、DW15-200~4000A 断路器电动机合闸电路 / 214

四、DW15 系列断路器热-电磁式过电流脱扣器电路 / 214

五、DW15 系列断路器电子式脱扣器电路 / 215

六、DW15 系列和 ME 系列断路器欠电压脱扣器电路 / 217

七、ME 系列断路器电动机预储能带释能交流操作合闸电路 / 217

八、ME 系列断路器电动机预储能带释能直流操作合闸电路 / 218

九、智能型断路器及其整定与操作 / 218

第四节 万能转换开关控制电路 / 220

一、万能转换开关简介 / 220

二、LW2 系列万能转换开关及接线 / 221

三、LW5 系列万能转换开关及接线 / 224

四、LW8 系列万能转换开关 / 227

Chapter 6

第六章 小水电站常用电动机控制电路和照明电路 / 230

第一节 常用电动机控制电路 / 230

- 一、采用转换开关控制的正转启动电路 / 230
- 二、采用转换开关控制的正反转启动电路 / 231
- 三、按钮控制点动正转启动电路 / 231
- 四、具有自锁功能的正转启动电路 / 231
- 五、按钮和接触器双重联锁控制正反转启动电路 / 232
- 六、手控电动机水轮机调速电路 / 233
- 七、QC12 型不可逆磁力启动器控制电动机启动电路 / 234
- 八、QC12 型可逆磁力启动器控制电动机启动电路 / 235
- 九、QX1、QX2 系列磁力启动器Y- Δ 降压启动电路 / 235
- 十、按钮控制Y- Δ 降压启动电路 / 235
- 十一、冷却风扇自启动电路 / 236
- 十二、空气压缩机控制电路 / 237
- 十三、转换开关控制的电动机自动互投电路 / 237
- 十四、励磁屏单相电扇的接线 / 238
- 十五、卷扬机控制电路 / 239
- 十六、电动葫芦控制电路 / 239

第二节 照明电路 / 240

- 一、简易应急白炽灯电路 / 240
- 二、单管应急荧光灯电路 / 241
- 三、照明调光和风机调压电路 / 242
- 四、利用永磁机剩磁作小水电站事故照明电源的电路 / 244
- 五、路灯光电控制器 / 244

Chapter 7

第七章 电源电路和显示报警电路 / 247

第一节 直流操作电源电路 / 247

- 一、典型的镉镍蓄电池直流屏系统 / 247
- 二、硅整流电容储能直流电源系统 / 248
- 三、ZC_F^A 系列硅整流设备电路 / 249
- 四、KC_F^A 系列一般充电用晶闸管整流设备电路 / 250
- 五、蓄电池直流屏不间断供电转换电路 / 251
- 六、直流操作电源绝缘监视电路 / 251
- 七、直流电源反接指示电路 / 253
- 八、具有反接显示的蓄电池充电电路 / 253
- 九、蓄电池充电状态指示器 / 254
- 十、蓄电池放电状态指示器 / 255

第二节 备用电源切换电路 / 256

- 一、用继电器控制的单相电源自投电路 / 256
- 二、交直流电源不停电切换电路 / 256
- 三、低压断路器跳闸后自动恢复送电的电路 / 258
- 四、双路电源用接触器自投电路 / 259
- 五、双路电源用接触器自投自复电路 / 260

- 六、双路电源用接触器互投电路 / 261
- 七、模块化双路电源转换电路 / 262
- 第三节 供电电源电路 / 264
 - 一、具有相序保护的供电电路 / 264
 - 二、具有自启动功能的供电电路 / 265
 - 三、晶闸管控制的交流稳压器 / 266
 - 四、晶闸管换挡的自耦变压器式交流稳压器 / 267
- 第四节 显示、报警电路 / 268
 - 一、闪光信号灯 / 268
 - 二、采用白炽灯的节电型信号灯 / 270
 - 三、发光二极管显示电路 / 271
 - 四、简易讯响器 / 273
 - 五、用音乐集成电路的讯响器 / 274
 - 六、用语言集成电路的讯响器 / 275
 - 七、熔断器熔断及负荷开路指示电路 / 276
 - 八、熔断器熔断声、光报警器 / 277
 - 九、三相电源缺相报警器 / 278
 - 十、三相交流电源中性线断路报警器 / 280
 - 十一、继电器、接触器工作状态指示器 / 281
 - 十二、高压隔离开关操作显示器 / 282
 - 十三、电流互感器二次开路报警器 / 282
 - 十四、小水电水库水位告警器 / 283
 - 十五、小水电水库水位监视器 / 284
 - 十六、相序测定器 / 284

Chapter 8

第八章 电气测量电路 / 285

- 第一节 电流和电压的测量电路 / 285
 - 一、直流电流测量电路 / 285
 - 二、直流电压测量电路 / 285
 - 三、直流电流表、电压表的扩程 / 285
 - 四、交流电流测量电路 / 286
 - 五、交流电压测量电路 / 287
 - 六、交流电流表、电压表的扩程 / 288
- 第二节 功率的测量电路 / 289
 - 一、直流电路功率测量电路 / 289
 - 二、单相交流电路功率测量电路 / 289
 - 三、两表法测量三相三线有功功率的接线 / 290
 - 四、三表法测量三相四线有功功率的接线 / 291
 - 五、三相有功功率表经电流、电压互感器接入的接线 / 291
 - 六、一表法测量三相无功功率的接线 / 291
 - 七、两表法测量三相无功功率的接线 / 292
 - 八、三表法测量三相无功功率的接线 / 292
 - 九、具有人工中性点的两表法测量三相无功功率的接线 / 292

第三节	电能的测量电路 / 293
一、	直流电能表接线 / 293
二、	单相电能表接线 / 293
三、	用三只单相电能表测量三相四线制电路电能的接线 / 294
四、	三相四线制电路有功电能表的接线 / 295
五、	三相三线制电路有功电能表的接线 / 295
六、	单相无功电能表的接线 / 296
七、	用三只单相电能表测量三相无功电能的接线 / 296
八、	三相四线制电路无功电能表的接线 / 297
九、	三相三线制电路无功电能表的接线 / 298
十、	两相 380V 电焊机电能计量接线 / 298
第四节	功率因数和频率等测量电路 / 301
一、	功率因数表接线 / 301
二、	频率表接线 / 301
三、	多种仪表的联合接线 / 302
四、	发电机并网后功率因数表、无功电能表反转现象及改线 / 303
第五节	电缆芯线识读器 / 304
一、	利用电阻、二极管和万用表的识读器 / 304
二、	利用波段开关和指示灯的识读器 / 306
三、	利用发光二极管的识读器 / 306

参考文献	/ 308
------	-------

第一章

水轮发电机并列运行及控制电路

第一节 同步发电机并列运行电路

一、同步发电机并列运行的条件

把一台发电机发出来的电和其他发电机发出来的电（或电网系统）合并在一起，实现联合运行，叫并列（或并联）运行。

并列的要求如下。

（1）在合闸并列的最初瞬间，应使冲击电流尽可能的小。

（2）并列后，要求发电机保持稳定的同步运行，调节各发电机有功和无功功率（即调节导水叶和励磁）时，不发生振荡和跳闸。

并列的条件如下。

（1）频率相同。频率相同是并列的基本条件。如果频率不同，在同一瞬间它们电压的大小和极性就不同，若并列就会在发电机间的定子绕组中形成电位差而产生环流。环流过大，就会烧坏定子绕组。同时环流还会产生一个增加发电机转速的力矩，致使发电机转速不稳定，产生振动。因此，频率不同的发电机是绝对不能并列的。

并列前发电机频率决定于发电机转速，改变导水叶的开度可改变频率。

（2）电压相同。电压的大小和相位均相同。并列时要求它们的电压差值不超过 $\pm 5\%$ 且相位相同。若电压不同，并列时就有较大的冲击电流，并列后还会影响发电机的功率因数；当相位差很大时，就会产生很大的环流，烧坏定子绕组。

并列前发电机的输出电压决定于励磁电流，调节励磁装置的调压电位器可改变发电机输出电压的大小。

（3）电压相序一致。相序就是发电机三相电压升起的次序。若相序不同，即使它们的电压大小和相位相同，其中必有两相电压不同，并列时在这两相中就有很大的电压差，就会产生很大的环流，会烧坏定子绕组。

待并两台发电机（或与电网）的三相电压相序必须一致，要么均为正相序，要么均为逆相序。

小型发电机常用的并列方法有准同期法、自同期法和粗同期法 3 种，目前绝大多数采用准同期法。不管采用哪种并列方法，首先都要分别测量出电网侧和发电机侧（如与电网并列）或两台发电机输出侧（如两台发电机并列）的相序。如为发电机与电网并列，先用相序表〔或自制相序测定器（见第七章第四节十六项）〕测出电网侧（即发电机出口断路器上桩头）三相电源的相序，然后开启发电机并起励建压，测量其出口断路器下桩头三相电压的相

序。若相序不一致,则需将发电机输出电缆(电线)中的两相对调一下。

对于高压发电机,需在电网侧电压互感器和发电机侧电压互感器上测量相序。两侧的电压互感器必须是极性一致。

二、准同期并列电路

所谓准同期并列法,是在确认发电机与电网(系统)或发电机之间相序已一致,在待并发电机投入励磁后,调整发电机的转速(导水叶)和电压,在待并发电机电压、频率、相位与系统一致的条件下,迅速合上待并发电机主开关(出口断路器),实现并列运行。

准同期并列法的优点是:并列瞬间冲击电流小,可以带负荷并列,不致因同步而影响电压质量。缺点是:手动同步时有一定的困难,对于技术不熟练的人员不好掌握,不易达到同步点。如果操作不好,在相位不一致和频率不相同的情况下进行合闸,有可能造成设备损坏事故。但由于它的优点显著,事故概率在人们的注意下可以减小。而且,目前多数电站的励磁装置采用晶闸管自动励磁,设有自动准同期装置,操作安全、方便,避免了非同期合闸事故。准同期并列法一般适用于较大容量的发电机并入电网系统,或孤立小电网多台小型发电机的并列。

准同期并列法有灯光熄灭法、灯光旋转法、整步表法、BKQ 系列自动并列控制器法、STK-W-3 型微机控制器法和 PTQ2000A1 及 B1 型微机智能准同期控制器法等。

1. 灯光熄灭法并列电路

灯光熄灭法又称暗灯法,其电路如图 1-1 所示。它是利用三组灯泡来指示两台发电机(或发电机与电网)的频率和相序的。

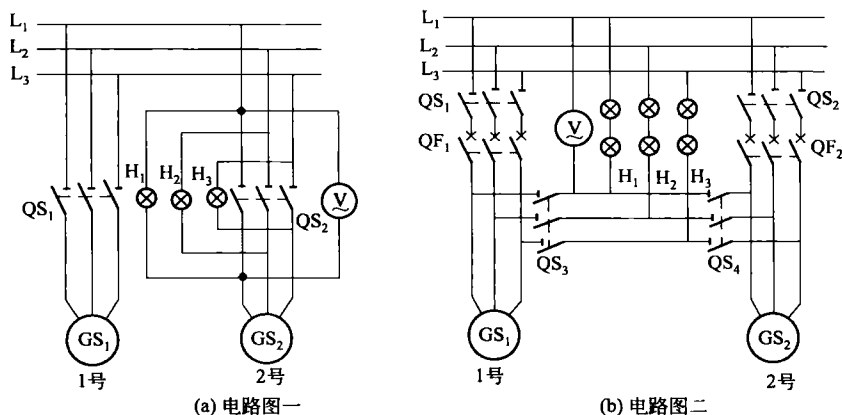


图 1-1 灯光熄灭法并列电路

并列过程:设 1 号发电机 GS_1 已运行向母线供电。启动 2 号发电机 GS_2 ,使其转速接近额定转速,端电压接近 1 号发电机的电压。这时如果 H_1 、 H_2 、 H_3 三级白炽灯轮流熄灭,说明两台发电机的相序不一致,应将 2 号发电机两根出线对调一下,使三组白炽灯同时发光,同时熄灭。灯泡发光与熄灭的频率,就是两台发电机相差的频率。调整 2 号发电机的转速,使灯泡发光与熄灭的频率变得很慢,这时就可准备合闸。当三组灯泡全部熄灭时,立即合上并车开关 QS_2 ,合闸后,两台发电机会自动拉入同步,达到频率完全相同。由于灯泡熄灭并不表示两端电压为零(因为在较小电压下灯泡也不亮),所以应在并车开关 QS_2 两端(任一相)并一只电压表,当三组灯泡熄灭、且电压表指示为零时,就是准确合闸的时间。

如果合闸不及时,合闸后电流表指针会剧烈地摆动,说明未拉入同步。这时需立即拉开并列开关 QS_2 ,重新调整后再并列。

灯光熄灭法的矢量图如图 1-2 所示。

2. 灯光旋转法并列电路

灯光旋转法并列电路如图 1-3 所示。

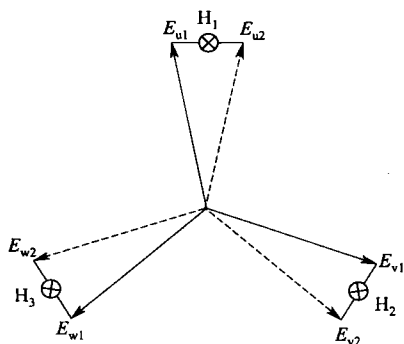


图 1-2 灯光熄灭法的矢量图

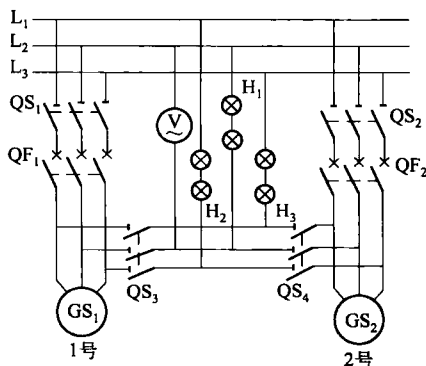


图 1-3 灯光旋转法并列电路

工作原理与图 1-2 类似。只是三组灯泡接法不同:一组灯泡接在对应相(如 U 相)上,其他两组灯泡则交叉地接到 V、W 两相上。

并列过程:设 1 号发电机 GS_1 已运行向母线供电,2 号发电机 GS_2 待并。开关 QS_3 断开, QS_4 合上。合上 QS_2 ,启动 2 号发电机使其转速接近额定转速,端电压接近母线电压,并用万用表校验两台发电机的相序是否一致:用万用表两表笔分别搭接并列开关 QF_2 的 U、V、W 三相上下两接线端子,若电压均为零,则表明两台发电机相序一致,否则应将 2 号发电机任两根出线对调一下,直到所测电压均为零。

这时三组灯泡应顺时针方向或逆时针方向依次发光和熄灭。当灯光旋转很慢时(表明两台发电机频率接近),就可准备合闸 QF_2 。为了更准确掌握合闸时间,最好在合闸开关(V 相)上并一只电压表。当电压表指示为零,同时上面的一组(H_1)灯熄灭,下面的两组灯(H_2 、 H_3)亮度相同时,迅速地合上并车开关即可。

灯光旋转法的矢量图如图 1-4 所示。

必须指出,同期指示灯不宜采用氖灯(如 NXD2-3/220V 型),因为这种灯是依靠电离原理发光且氖灯前串有一只大阻值电阻,当氖灯熄灭时,其两端可能仍有 70% 的额定电压,即氖灯熄灭并不能真实反映理想的同期合闸瞬间。如在此时合闸,仍为非同期并列,有较大的冲击电流。因此,为使合闸瞬间更为准确,不宜采用氖灯作为同期指示灯。

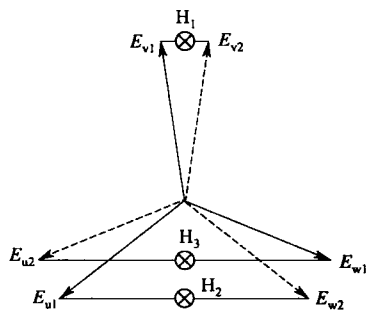


图 1-4 灯光旋转法矢量图

3. 整步表法并列电路

整步表又称同步表,它是一种专供并列用的表计。当待发电机的频率高于已投入运行的发电机(或系统电网)的频率时,表的指针向快的一方旋转;反之,向慢的一方旋转。当整步表的指针缓慢地接近表上垂直的红线时,立即合闸并列开关即可。

整步表法并列电路如图 1-5 所示。图中, QF_1 、 QF_2 为断路器, QS_1 、 QS_2 为闸刀开关,

SA 为开关, $TV_1 \sim TV_3$ 为电压互感器, S 为整步表。

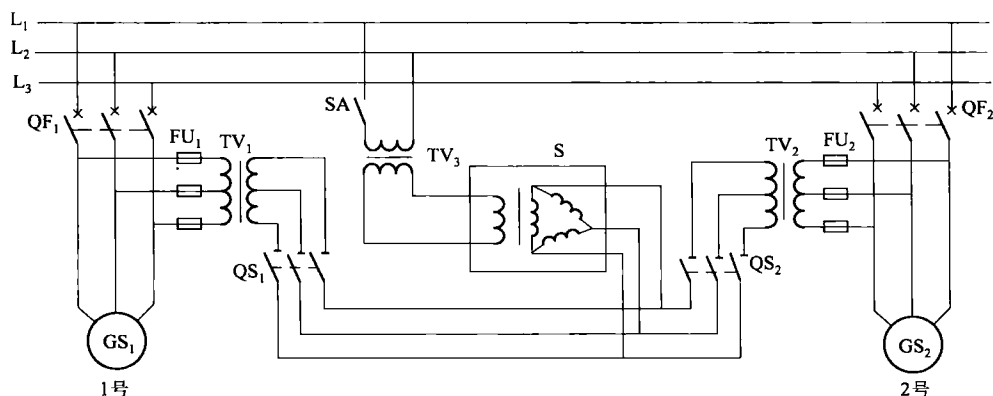


图 1-5 整步表法并列电路

4. BKQ 系列自动并列控制器和微机智能控制器法

有关 BKQ 系列并列控制器、STK-W-3 型微机控制器和 PTQ2000A1 及 B1 型智能准同期控制器介绍见本节五~八项。

在 BKSF-□2 系列发电机控制柜上装有 BKQ 自动并列控制器; 在 BKSF-□2A 系列发电机控制柜上装有 STK-W-3 型微机控制器。现以 BKSF-□2 系列发电机控制柜为例, 其并列操作步骤如下 (参见图 1-22~图 1-24)。

(1) 首先将隔离开关 QS 合上, 断路器 QF 应置于分断位置。

(2) 发电机启动建压后调节励磁电流和导水叶 (即调节水轮机调速器手轮), 使发电机转速 (频率) 和机端电压达到额定值。切换电压换相开关 3SA, 以检查三相电压是否平衡。

(3) 本系列控制柜设有并列同期灯和准同期装置。可用于机组间的并列或与电网并列。若要并网运行, 把 3SA 电压换相开关切换到最右面的一挡, 这时电压表和频率表指示的是电网电压和频率, 细心调节本机电压和频率, 使其与电网电压和频率达到一致。

(4) 如果采用同期灯手动并网, 合上同期开关 2SA, 观察 3 只同期灯。本柜采用灯光旋转法并列。当下面两只最亮、上面一只熄灭时, 迅速合上出口断路器 QF。并列成功后, 应将同期开关 2SA 分断。

(5) 如果采用准同期装置 (BKQ 系列) 自动并网, 则应先初步观察本机电压和频率, 当其基本与电网电压和频率一致时, 打开准同期装置上的开关 (具体操作见本节五项), 断路器 QF 即自动合闸并网。自动并网后, 把准同期装置上的开关扳到分断位置。

三、粗同期并列电路

粗同期并列法又称电抗器同期并列法。将待发电机的电压、频率大致调到接近于运行机组, 不管相位如何 ($0^\circ \sim 180^\circ$), 将待发电机通过电抗器并入系统, 拉入同步后, 即可将电抗器断开。电抗的标么值在 1~2 之间, 要求并列时冲击电流不大于 2.5 倍额定电流, 系统母线电压降落不大于 12% 的额定电压。

粗同期并列的优点是: 操作简单, 并列速度快, 冲击电流和系统母线电压降均由于电抗器的限流作用而大为减小。缺点是: 合闸瞬间有一定的冲击电流和电压降, 转子有异步过程, 机组轴上可能出现较大的电动力。

粗同期并列法适用于同一形式、同容量、台数较多且单机容量在 500kW 以下的机组。

对于超过 500kW 的机组，可视具体情况而定。

粗同期并列法过去应用得较多，其一次接线如图 1-6 所示，二次接线如图 1-7 所示。

工作原理 设 2 号发电机 GS_2 为待并机。将并列选择开关 SA 打到“并 2”位置。将 1 号发电机 GS_1 起励建压，调节励磁电流和导水叶，使其转速和电压达到额定值。合上隔离开关 QS_1 ，按下合闸按钮 SB_3 ，1 号发电机出口断路器 QF_1 的合闸电动机 M_1 通电转动， QF_1 合闸，1 号发电机向母线供电。

2 号发电机 GS_2 经电抗器 L 并列：将 2 号发电机 GS_2 起励建压，调节励磁电流和导水叶，使其转速（频率）和电压接近 1 号发电机 GS_1 的数值。按下 2 号机并列按钮 SB_2 ，接触器 KM_2 得电吸合，2 号发电机经电抗器 L 与 1 号发电机并列。这时，尽管 2 号发电机的频率、电压和相位都有一定差别，但由于电抗器 L 的阻抗较大，它限制了并列时由于 3 个条件有差值所产生的冲击电流（该电流不会超过发电机额定电流的 1.2 倍），所以发电机不会损坏。

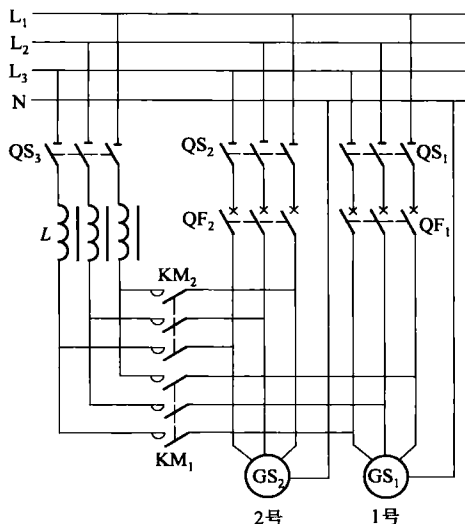


图 1-6 粗同期并列法一次接线图

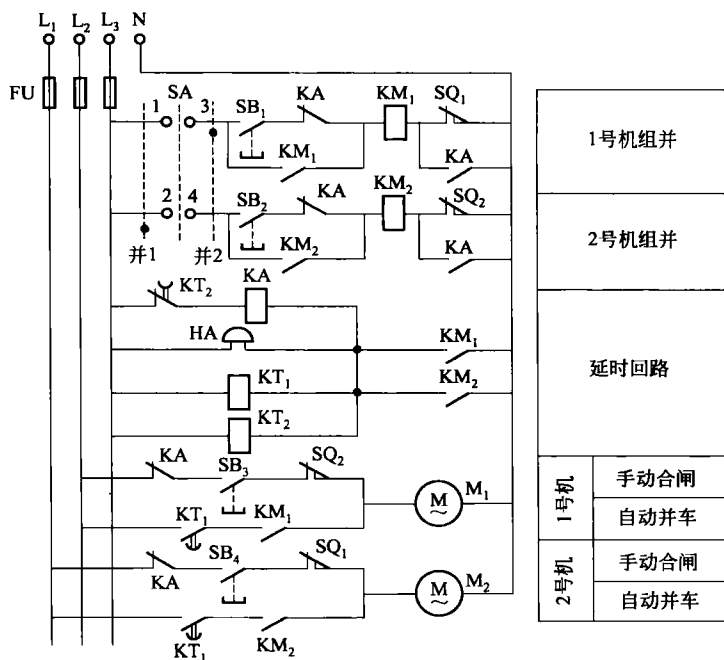


图 1-7 粗同期并列法二次接线图

2 号发电机直接并列：接触器 KM_2 吸合后，其常开辅助触点闭合，时间继电器 KT_1 和 KT_2 的线圈通电，同时电铃 HA 发出声响，告诉操作者 2 号发电机已通过电抗器 L 与 1 号发电机（或电网）并列，中间继电器 KA 得电吸合，其常开触点闭合，使接触器 KM_2 闭锁。时间继电器 KT_1 经过 2~3s 延时后，其延时闭合常开触点闭合，断路器 QF_2 的合闸电

动机 M_2 通电转动, QF_2 合闸, 2 号发电机直接与 1 号发电机 (或电网) 并列运行。

时间继电器 KT_2 经过 4~5s 延时而, 其延时断开常闭触点断开, 中间继电器 KA 失电释放, 其常开触点断开, 接触器 KM_2 失电释放, 电抗器 L 退出工作。 KM_2 的常开辅助触点断开, 切断时间继电器 KT_1 、 KT_2 和电铃 HA 的电源, 并列结束。

如果经电抗器并列后发现电流表指针不停地摆动, 整步表旋转, 则表示未被拉入同步。此时可稍稍调节一下 2 号发电机的转速 (稍稍再打开导水叶), 直到同步为止。

四、自同期并列电路

在发电机启动后暂不合上励磁开关, 待发电机转速达到同步转速或接近同步转速时 (可差 3%~5%), 合上发电机主开关, 然后迅速合上励磁开关给发电机励磁, 使待并发电机很快地被系统拉入同步。

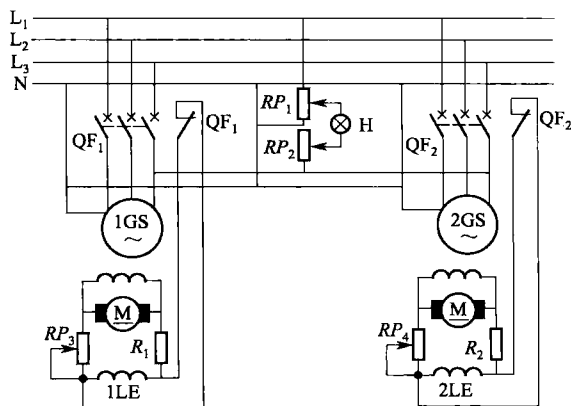


图 1-8 手动自同期并列法电路

QF_1 、 QF_2 —断路器及联锁触点; R_1 、 R_2 —灭磁电阻;
1LE、2LE—励磁机励磁绕组; RP_3 、 RP_4 —变阻器;
H—同期灯; RP_2 —调节电阻; RP_1 —分压电阻

这种方式可以解决小型发电机同步并列的困难, 其主要优点是: 合闸迅速 (这在处理事故时有重要意义); 装置较简单, 消除了误合闸和损坏发电机的可能性; 在系统频率和电压有较大变动时, 也有投入发电机的可能性; 操作简单, 便于自动化。缺点是: 未励磁的发电机合闸, 有电流冲击; 合闸瞬间系统母线电压会降低。

1. 手动自同期并列法

手动自同期并列法线路如图 1-8 所示。并列操作如上所述。

2. 自动自同期并列法

自动自同期并列法线路如图 1-9 所示。二次接线如图 1-10 所示。它采用差

周继电器, 借助于其常开接点去接通主开关, 并同时加上励磁。

并列过程: 待并发电机运行至额定转速后, 按下合闸按钮 SB_2 , 接触器 KM_2 得电吸合并自锁, 其主触点闭合, 接通发电机的励磁回路。

调节磁场变阻器 RP_1 , 使发电机由空载电压升至额定值, 按下控制按钮 SB_3 , 接触器 KM_3 得电吸合, 其常闭辅助触点断开, KM_2 失电释放, 其主触点断开, 切断励磁回路, 并使 KM_3 失电退出工作。

合上残压开关 S, 差周继电器 KF 的残压回路接通。按下控制按钮 SB_1 , 当待并发电机与运行发电机 (或电网) 电压的频率相差 $\pm 2.5\%$ 时, KF 动作, 其常开触点闭合, 中间继电器 KA_2 得电吸合, 其常开触点闭合, 接触器 KM_1 得电吸合并自锁 (这时可放开按钮 SB_1), 使待并发电机投入运行。由于 KM_1 的常开辅助触点闭合, KM_2 得电吸合并自锁, 接通励磁回路。 KM_1 的常闭辅助触点断开, 切断差周继电器 KF 的残压回路, 并列过程结束。

图中, 电压继电器 KA 和中间继电器 KA_1 , 为残压回路的电压闭锁装置。如果待并发电机已励磁, 则电压很高, KA 吸合, 其常开触点闭合, 中间继电器 KA_1 吸合, KA_1 的常闭触点断开, 切断差周继电器 KF 的一个残压线圈回路, 发电机不能并列。