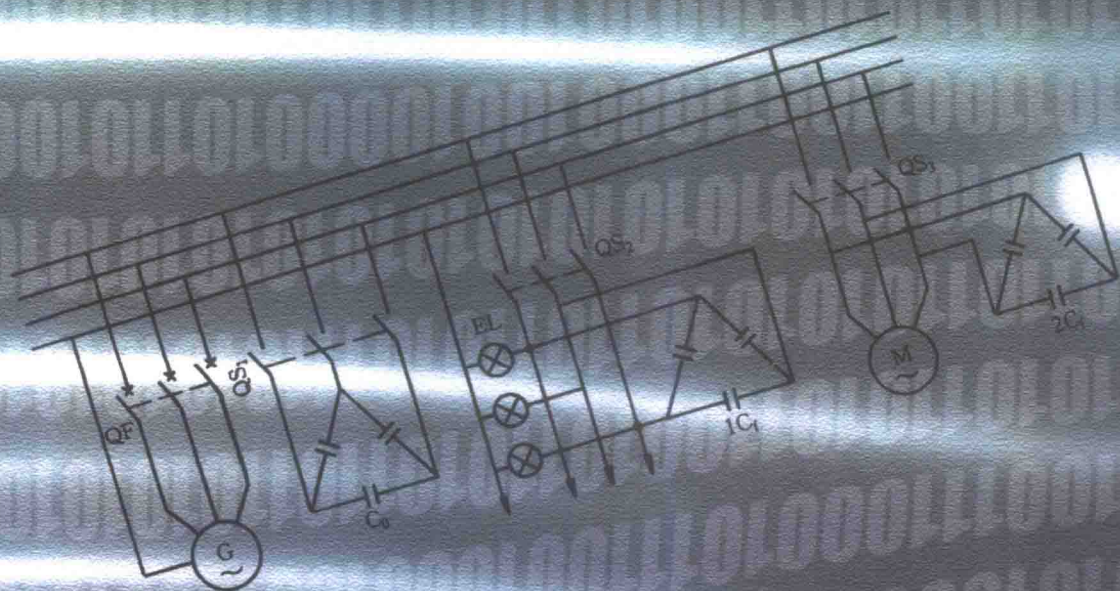


实用电气电路图识图技巧与应用丛书

小型发电 及控制线路

方大千 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

实用电气电路图识图技巧与应用丛书

小型发电 及控制线路

方大千 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书较系统全面地介绍小型发电及控制线路。所介绍的线路都是工程应用线路,实用性非常强。全书共分五章,主要内容包括小型发电机励磁、并网及保护线路,继电器、接触器和断路器线路,备用电源切换线路和显示、报警电路,蓄电池充、放电线路及充磁、退磁线路,以及电气测量线路等。本书叙述通俗易懂,每个线路都介绍了工作原理,主要元件的选择,图中元件均标明具体参数,以便于读者掌握和应用。

本书适合电气技术人员、小型发电人员、电工技师和中、高级电工阅读,也可供大、中专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

小型发电及控制线路/方大千编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2002

(实用电气电路图识图技巧与应用丛书)

ISBN 7-5084-1132-3

I. 小… II. 方… III. 发电机-控制电路 IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 043935 号

书 名	实用电气电路图识图技巧与应用丛书 小型发电及控制线路
作 者	方大千 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 17 印张 403 千字
版 次	2002 年 8 月第一版 2002 年 8 月第一次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	37.00 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

从事电气及小型发电设备运行、维修的工作人员,要能正确分析、判断设备故障原因和发生部位,并迅速加以排除,其前提是熟悉电气、电子线路图,弄懂其工作原理。评价一名电工的技术水平,主要是看他检修设备排除故障的能力。同样,从事电气设计和新产品开发的人员,都需要熟悉常用的工程应用线路。

全国拥有小水电站十几万座,小水电职工的业务水平亟待提高。在本书的小型发电部分,较系统全面地介绍了异步电动机改作发电机的接线,发电机励磁装置及相关电路,柴油、汽油发电机及直流发电机电路,发电机并列运行线路,以及发电机保护线路等;继电器、接触器、电磁铁和断路器是发电厂常用的电器设备,也是工业控制中使用最多的电器,书中较系统、全面地介绍了继电器、接触器和电磁铁的控制线路,加速、延缓动作的电路,消火花电路及保护线路,节电线路,断路器及操作机构控制线路;在备用电源切换线路部分,介绍了各类双路和三路电源互备自投线路,网电与发电机电源互投线路等;显示、报警电路应用广泛,本书重点介绍适用于发电厂、变电所和工业控制设备中的实用显示、报警电路;书中对蓄电池充、放电线路和充磁、退磁线路作了简明介绍;另外,较全面地介绍了电气测量线路。编写中充分注意新技术在电气线路中的应用。

该书作者从事电气、自动化和小水电工作三十多年,具有丰富的实践经验。所开发的 TWL-Ⅱ型、JZLF-11F 及 31F 系列发电机励磁装置, BKSF(W)、BKSF(H)、BKSF(WA)、BKSF(HA) 等系列发电机三合一控制屏在全国各地推广使用。因此该书所选线路和编写方式及内容,反映了作者的经验和实用性。作者深感掌握电气控制线路的工作原理对快速检修电气设备和开发新产品的重要性。书中的线路类型较全,实用性强,原理介绍准确、明了。读者通过它能很快地提高自己的技术水平,提高处理实际技术难题的能力。书中的名词术语、电气图形符号和文字符号均采用新的国家标准。

协助参加本书编写工作的有鲍俏伟、郑鹏、方亚敏、徐德华、那罗丽、蒋寿岳、许纪秋、朱征涛和方欣等同志。全书由方大中高级工程师审校。在本书的编写中还得到金华市建筑工程公司方欣同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于作者的水平，不妥之处在所难免，望广大读者批评指正。

作 者

2002年5月

目 录

前 言

第一章 小型发电机励磁、并网及保护线路	1
第一节 异步电动机改作发电机的接线	1
一、鼠笼式异步电动机改作发电机的接线	1
二、绕线式异步电动机改作发电机的接线	4
第二节 发电机励磁装置及相关电路	5
一、发电机励磁方式的选择	5
二、KL-25 型晶闸管自动励磁装置	7
三、TLG1 系列晶闸管自动励磁装置	8
四、TKL15 型晶闸管自动励磁装置	11
五、TWL-I 型无刷励磁调节器	15
六、TWL-B 型无刷励磁调节器	17
七、JZLF-11F 型晶闸管自动励磁装置	18
八、JZLF-31F 型晶闸管自动励磁装置	21
九、KGLF-31F3 型晶闸管自动励磁装置	23
十、FKL-32 型晶闸管自动励磁装置	26
十一、三次谐波晶闸管自动励磁装置	26
十二、小型发电机基、谐波混合励磁装置	30
十三、JL-2SCRC 型励磁调节器	30
十四、采用 CJ-12 型调节器改造老式小型发电机的接线	31
十五、发电机灭磁开关控制线路	34
十六、常用的整流电路	37
十七、手动励磁调节器的设计	39
十八、晶体管基本电路及保护电路	40
十九、单结晶体管触发电路	44
二十、单结晶体管宽脉冲触发电路	48
二十一、经脉冲变压器输出的小晶闸管触发电路	49
二十二、触发电路的输出环节	52
二十三、运算放大器的保护电路	52
二十四、采用晶闸管的转子过电压保护线路	54
二十五、晶闸管过电压保护	55

二十六、晶闸管过电流保护	57
第三节 柴油、汽油发电机及直流发电机线路	58
一、HF4-28-50 型柴油发电机调压线路	58
二、7kW 柴油发电机晶闸管调压线路	59
三、12V135 型柴油发电机晶闸管调压线路	60
四、长江 1.5kW 汽油发电机晶闸管调压线路	60
五、直流发电机绕组的连接方式	61
六、直流发电机晶闸管电压自动调整器	62
第四节 发电机并列运行线路	63
一、灯光熄灭法并车线路	63
二、灯光旋转法并车线路	64
三、整步表法并车线路	65
四、粗同期并车线路	65
五、BKQ 系列自动并列控制器	66
六、STK-W-3 型微电脑控制器	68
七、自同期并车线路	70
第五节 发电机保护线路及其它	72
一、异步发电机电容过电压保护线路	72
二、小水电飞车自动保护线路	72
三、12V135D 柴油发电机飞车保护线路	73
四、小水电站控制、保护线路	75
五、BKSF-□2 系列低压水轮发电机控制柜	75
六、BKSF-□2A 系列微电脑控制柜	78
七、三合一发电机控制柜	80
八、小水电站利用永磁机剩磁作事故照明的线路	82
九、小水电站电动机调速备用电源自动投入线路	82
第二章 继电器、接触器和断路器线路	84
第一节 继电器、接触器和电磁铁控制线路	84
一、常用的典型继电器—接触器控制线路	84
二、继电器应用范围扩展的接线	86
三、继电器的代用与参数换算	86
四、JSZ 型闪烁继电器	88
五、JB-22 型晶体管继电器	88
六、经济的继电器	89
七、新型的固体继电器	90
八、固体继电器保护元件的选择	92
九、将低工作电压的直流继电器用于市电的线路	93
十、单按钮控制通断的继电器线路	94

十一、利用热敏电阻防止继电器触点竞争的线路	96
十二、直流电磁阀通断快速响应的控制线路	98
十三、继电器、接触器长线控制线路	99
十四、提高继电器、接触器触点控制系统可靠性的线路	101
十五、交流接触器低电压启动线路	103
十六、单线控制三台用电器具的线路	103
第二节 加速、延缓动作的电路	104
一、直流继电器延缓释放电路	104
二、直流继电器加速吸合电路	107
三、直流继电器加速释放电路	107
四、直流继电器延时吸合电路	109
五、交流失压继电器延时释放电路	109
六、直流电磁铁强励磁快速吸合电路	109
七、直流电磁铁、继电器强励磁快释放电路	111
八、直流电磁铁快速消磁电路	112
九、三种基本的晶体管延时电路	113
十、充电式延时电路	114
十一、放电式延时电路	118
十二、前记忆电路	119
十三、后记忆电路	120
第三节 消火花电路及保护线路	121
一、继电器、接触器、电磁铁消火花电路	121
二、一种简单的电磁铁过电流保护线路	126
三、晶体管电子继电器元件参数的选择	127
第四节 继电器、接触器节电线路	128
一、继电器吸合后工作电流减小的节电线路	128
二、电容式交流接触器直流运行线路	130
三、变压器式交流接触器直流运行线路	133
四、交流电磁铁直流运行线路	135
五、变电所电容储能交流接触器直流运行	136
第五节 断路器及操作机构控制线路	137
一、交流操作断路器跳闸、合闸线路	137
二、直流操作断路器跳闸、合闸线路	139
三、带防跳跃装置的断路器控制线路	140
四、手动操作的断路器控制、信号线路	143
五、弹簧操动的断路器控制、信号线路	144
六、电磁操动的断路器控制、信号线路	145
七、CT7 型操作机构一次重合闸线路	146

八、CT8 型弹簧操动机构控制线路·····	146
九、DW10 型低压断路器电磁合闸线路·····	147
十、DW10 型低压断路器电动机合闸线路及改进·····	148
十一、DW10 型低压断路器自动合闸线路·····	149
十二、DW15 型低压断路器电磁铁吸合储能合闸线路·····	150
十三、DW15 型低压断路器电动机合闸线路·····	151
十四、ME 型低压断路器电动机合闸线路·····	152
十五、ME 型低压断路器电动机预储能带释能合闸线路·····	153
十六、ME 型低压断路器延时脱扣器线路·····	155

第三章 备用电源切换线路和显示报警电路····· 156

第一节 备用电源自动切换线路····· 156

一、用继电器控制的单相电源自投线路·····	156
二、交直流电源不停电切换线路·····	156
三、继电保护操作电源自动切换线路·····	158
四、低压断路器跳闸后自动恢复送电的线路·····	159
五、双路电源用接触器自投线路·····	160
六、双路电源用接触器自投自复线路·····	161
七、双路电源用低压断路器自投线路·····	163
八、双路电源用接触器互投线路·····	166
九、双路电源互投自复线路·····	169
十、双路电源用低压断路器（电磁合闸）互投线路·····	170
十一、双路电源用低压断路器（电动机合闸）互投线路·····	171
十二、三路电源互备自投线路·····	172
十三、蓄电池直流屏不间断供电转换线路·····	173
十四、外电网电源与自备发电电源互投线路·····	174
十五、外电网电源与自备发电电源转换线路·····	174
十六、两台并列变压器自动投切控制线路·····	175
十七、10kV 线路备用电源自动投入装置·····	176

第二节 显示、报警电路····· 180

一、简易闪光信号灯·····	180
二、信号灯亮度调节器·····	181
三、发光二极管显示电路·····	182
四、简易讯响器·····	184
五、采用变频振荡电路的讯响器·····	186
六、双音报警器·····	186
七、用音乐集成电路的报警器·····	186
八、采用 555 时基集成电路的报警器·····	188
九、采用运算放大器的报警、保护电路·····	188

十、报警电路检测元件的连接	189
十一、熔断器熔断及负载开路指示电路	189
十二、继电器、接触器工作状态指示电路	191
十三、熔断器熔断声、光报警电路	192
十四、熔断器熔断集中监察器	193
十五、自动投入备用熔断器电路	195
十六、市电欠电压、过电压显示、报警电路	196
十七、停电报警器	197
十八、停电、来电报警器	198
十九、三相交流电源中性线断路报警器	200
二十、市电欠电压、失压保护器	200
二十一、市电过电压保护器	201
二十二、市电欠电压、过电压保护器	202
二十三、直流电源反接指示器	204
二十四、电源电压越限指示器	205
二十五、单板机过电压保护器	206
二十六、感应式高压显示、报警器	207
第四章 蓄电池充、放电路及充磁、退磁线路	210
第一节 蓄电池充、放电路	210
一、简单的蓄电池充电机	210
二、小型晶闸管充电机	211
三、自动及恒流充电机	214
四、简单的蓄电池充放电自控装置	217
五、最简单的三相晶闸管充电机	217
六、GCA 系列硅整流充电机	218
七、KGCA 系列晶闸管充电机	219
八、蓄电池快速充电机	220
九、具有反接显示的蓄电池充电线路	223
十、无极性的蓄电池充电线路	224
十一、12V 大容量蓄电池充电器	226
十二、晶闸管放电机电	227
十三、蓄电池充电状态指示器	228
十四、蓄电池放电状态指示器	229
十五、蓄电池放电保护器	229
第二节 充磁、消磁线路	230
一、简易的充磁器	230
二、晶闸管充磁机	232
三、几种实用的消磁器	233

第五章 电气测量线路	235
第一节 电流和电压的测量	235
一、直流电流测量线路	235
二、直流电压测量线路	235
三、直流电流表、电压表的扩程	235
四、交流电流测量线路	236
五、交流电压测量线路	237
六、交流电流表、电压表的扩程	238
第二节 功率的测量线路	238
一、直流电路功率测量线路	238
二、单相交流电路功率测量线路	239
三、两表法测量三相三线有功功率的接线	239
四、三表法测量三相四线有功功率的接线	240
五、三相有功功率表经电流、电压互感器接入的接线	240
六、一表法测量三相无功功率的接线	241
七、两表法测量三相无功功率的接线	241
八、三表法测量三相无功功率的接线	242
九、具有人工中点的两表法测量三相无功功率的接线	242
第三节 电能的测量线路	243
一、直流电能表接线	243
二、单相电能表接线	243
三、用三只单相电能表测量三相四线制电路电能的接线	243
四、三相四线制电路有功电能表的接线	244
五、三相三线制电路有功电能表的接线	245
六、单相无功电能表的接线	245
七、用三只单相电能表测量三相无功电能的接线	245
八、三相四线制电路无功电能表的接线	246
九、三相三线制电路无功电能表的接线	247
十、两相 380V 电焊机电能计量接线	248
第四节 功率因数和频率等测量线路	251
一、功率因数表接线	251
二、频率表接线	251
三、多种仪表的联合接线	252
第五节 导线、电缆测试电路	254
一、电缆芯线编号识读器	254
二、简单的导线诊断仪	257
参考文献	260

第一章

小型发电机励磁、并网及保护线路

第一节 异步电动机改作发电机的接线

将异步电动机改作异步发电机具有价廉、简单、技术要求低、使用安全可靠、维护方便、能承受不对称负荷等优点。不足之处在于它需要配用相当容量的电容器，电压稳定性较差、容量较小、不宜远距离送电等。

一般异步电动机转子硅钢片内有剩磁，当原动机带动并接有电容器的异步电动机达到同步转速时，就能建立起输出电压，成为异步发电机。

如果异步电动机剩磁不足，应予充磁。充磁方法有两种：一种是将发电机还原成异步电动机运行几分钟即可，这需要有交流电源；另一种是用干电池（6~12V）在电动机的任意两相中通电 2~3 次即可。

所配用的电容器一般采用油浸式，能工作在交流 50Hz 中，耐压值视联接方式不同而定。

一、鼠笼式异步电动机改作发电机的接线

1. 电容器的联接方式及电容量的选择

根据电容器的载流量和所承受电压的大小，可联接成三角形或星形两种方式，如图 1-1 所示。

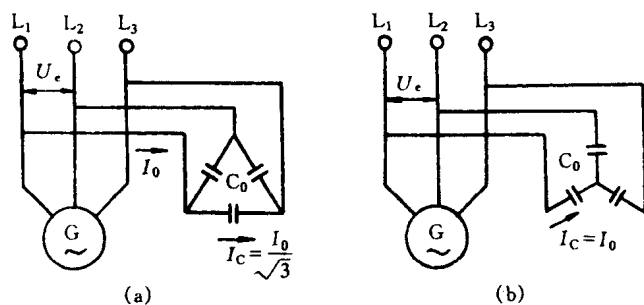


图 1-1 异步发电机电容器联接方式

(a) 电容器△接法；(b) 电容器Y接法

(1) 空载时电容量的选择。△接法时，每相电容量为

$$C_0 = \frac{I_m}{2 \sqrt{3} \pi f U_e} \times 10^6 \text{ (}\mu\text{F)}$$

Y 接法时，每相电容量为

$$C_0 = \frac{\sqrt{3} I_m}{2 \pi f U_e} \times 10^6 \text{ (}\mu\text{F)}$$

式中 U_e ——电动机的额定线电压 (V);

I_m ——电动机在 U_e 下的空载励磁电流 (A);

f ——频率, $f=50\text{Hz}$ 。

空载励磁电流 I_m 可按下式计算

$$I_m = I_0 \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}$$

式中 I_0 ——电动机的空载电流 (A);

$\cos \varphi_0$ ——空载时的功率因数。

(2) 负载时电容量的计算。负载电容器的作用是补偿加上负载时电动机端电压的下降, 接在负载侧。

1) 当负载功率因数 $\cos \varphi=1$ (即电阻性负载), 且满载时, 为稳定电压, 需增加约 25% 的电容量。即 $C_1=1.25C_0$ 。

2) 当负载功率因数 $\cos \varphi<1$ (即感性负载), 且满载时, 需增加一部分补偿电容量, 以补偿负载的无功部分 Q_1

$$Q_1 = S_e \sin \varphi = S_e \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \text{ (kvar)}$$

所增加这部分补偿电容量为

$$C_2 = \frac{Q_1}{2\pi f U_e^2} \times 10^9 \text{ (}\mu\text{F)}$$

式中 S_e ——异步发电机的额定容量 (kVA),

$$S_e = P_e / \cos \varphi_e;$$

P_e ——电动机额定功率 (kW);

$\cos \varphi_e$ ——电动机额定功率因数。

(3) 励磁电容、负载补偿电容的耐压要求。电容器 Δ 接法时, 若采用交流电容器, 耐压不低于 380V; 若采用直流电容器 (有正负极的直流电解电容器不能使用), 耐压不低于 600V。电容器 Y 接法时, 交流或直流电容器的耐压值不低于 220V 和 380V。

电容器最好采用绝缘较好、使用寿命较长的纸质、金属膜介质的静电油浸电容器。

(4) 三相 380V 异步发电机励磁电容量的选用见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 三相四极 380V 异步发电机励磁电容量选用参考表

功率 P (kW)	额定电流 I_e (A)	Δ 接 法		Y 接 法	
		每相电容量 (μF)	总电容量 (μF)	每相电容量 (μF)	总电容量 (μF)
0.2	0.6	2.5~4	7.5~12	7.5~12	22.5~36
0.35	0.98	4~6	12~18	12~18	36~54
0.6	1.4	5~8	15~24	15~24	45~72
1	2.4	8~12	24~36	24~36	72~108
1.7	3.7	10~15	30~45	30~45	90~135
2.8	6	18~24	54~72	54~72	162~216
4.5	9.5	22~30	66~90	66~90	198~270
7	14	32~42	96~126	96~126	288~478
10	20	40~56	120~168	120~168	360~504
14	27	54~74	162~222	162~222	486~666
20	38	66~86	198~258	198~258	594~774
28	53	90~120	270~360	270~360	810~1080
40	75	110~140	330~420	330~420	990~1260
55	102	150~180	450~540	450~540	1350~1620

表 1-2

三相 380V、750~1500r/min 的异步发电机在额定转速时

励磁所需的电容器 (Δ 接法) 三相总电容量

发电机 容量 (kVA)	空 载		满 载			
	电容量 (μF)	无功功率 (kvar)	$\cos\varphi=1$		$\cos\varphi=0.8$	
			电容量 (μF)	无功功率 (kvar)	电容量 (μF)	无功功率 (kvar)
1	16	0.73	20.5	0.93	32	1.45
1.5	22.5	1.04	28.5	1.29	46.5	2.11
2	28	1.27	36	1.53	60	2.72
2.5	34	1.54	43	1.95	74	3.34
3	40	1.81	48	2.18	87	3.94
3.5	45	2.04	56	2.54	100	4.53
4	50	2.26	62	2.81	112	5.08
4.5	54	2.44	70	3.14	124	5.62
5	60	2.72	75	3.4	138	6.25
6	69	3.14	87	3.94	159	7.21
7	74	3.16	98	4.44	182	8.25
8	80	3.62	108	4.9	204	9.25
10	92	4.18	130	5.9	245	11.1
12	102	4.62	144	6.53	282	12.8
15	120	5.44	172	7.8	342	15.5

2. 电容器的配置和电压调节

异步发电机发供用电线路如图 1-2 所示。图中, G 为异步发电机; M 为异步电动机; C_0 为供给异步发电机在空载电压下激磁电流的电容器, 又称主电容器, 可固定在发电机定子出线上; $1C_1$ 为照明负载用附加电容器; $2C_1$ 为动力负载用附加电容器。附加电容器又称辅助电容器。

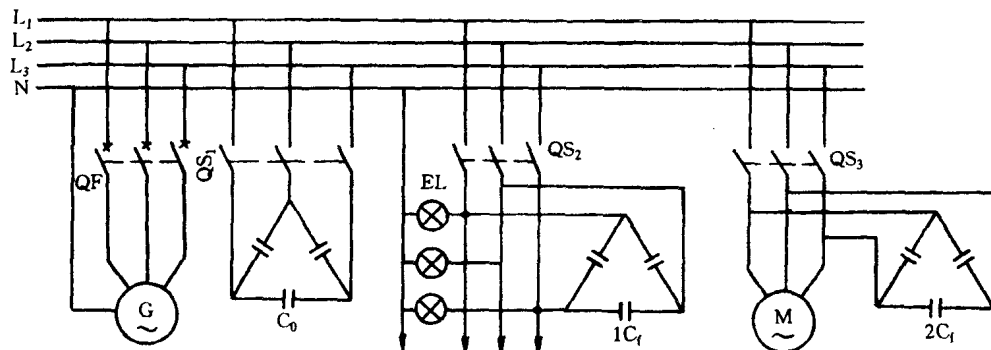


图 1-2 异步发电机发供用电线路

为了不使电压波动太大, 辅助电容可分成几组, 分别并联在各组负载上, 每组用独立的开关投切。

为了保证顺利地发电, 使用时应注意以下事项:

(1) 发电机在空载情况下, 让原动机带动, 使其转速比同步转速提高 5% 左右, 然后接上主电容, 也可接入主电容一起动, 待几秒至十几秒, 发电机电压即能从零上升到额定值。若发不出电, 应停车充磁。

发电机电压未建立前不能接负载。当发电机电压升到额定值后，即可投入负载，但感性负载（如电动机等）一般不应超过额定负载的 25%。

(2) 为使电压上升平稳，建议同时调节电容器和转速。电容量增加，励磁增加，电压上升，转速增加，电压也上升，故可以改变电容量对电压进行粗调；改变转速（调节原动机），对电压进行细调。

(3) 为了保证安全运行，发电机端电压比额定电压高 5% 或 10% 时，其电流可相应较额定电流降低 5% 或 10%。三相电流差额不得超过 20%，每相电流均不得超过额定电流。

(4) 为防止发电机在满载运行时突然失去负荷而引起电压过高击穿绝缘，应如前面所述，辅助电容应分组接于各组负载上，这样，当负载跳闸或熔丝熔断时，同时切除该组的电容器，避免了端电压的升高。

二、绕线式异步电动机改作发电机的接线

若在绕线式异步电动机的转子回路加上硅整流电压，实际上就相当于同步发电机。绕线式电动机的绕组一般接成 Y 形。

绕线式异步电动机改为发电机的接线如图 1-3 所示。

1. 硅整流变压器的输出电压和转子励磁电流的计算

采用图 1-3 (a) 的接法时

$$U_1 = 1.4E_{2e}s_e$$

$$I_1 = 1.23I_{2e} \approx 1.23 \frac{570P_e}{E_{2e}(1-s_e)}$$

采用图 1-3 (b) 的接法时

$$U_1 = 1.2E_{2e}s_e$$

$$I_1 = 1.4I_{2e} \approx 1.4 \frac{570P_e}{E_{2e}(1-s_e)}$$

式中 U_1 ——硅整流变压器的输出电压 (V)；

I_1 ——电动机转子的励磁电流 (A)；

s_e ——额定异步转速的转差率， $s_e = \frac{n_{1e} - n_{2e}}{n_{1e}}$ ；

n_{1e} ——定子磁场额定转速 (r/min)；

n_{2e} ——转子磁场额定转速 (r/min)；

E_{2e} ——作异步运行时的转子滑环开路电压 (V)，见铭牌；

I_{2e} ——作异步运行时的转子额定电流 (A)，见铭牌；

P_e ——作异步运行时电动机额定功率 (kW)。

2. 硅整流元件的选择

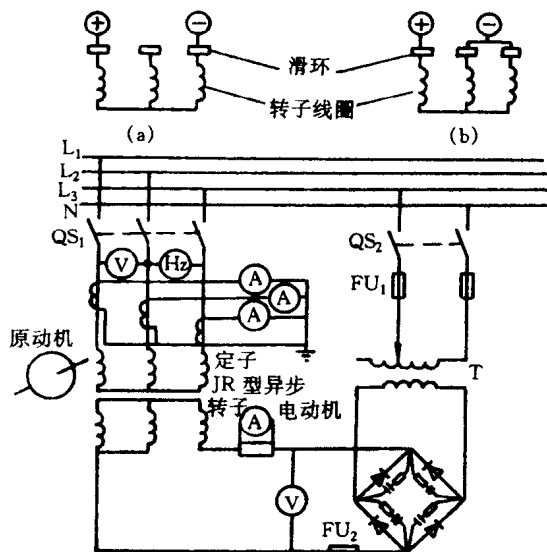


图 1-3 绕线式电动机改为发电机的接线

每只硅二极管的最高反向峰值电压 V_R 及最大整流电流 I_F ，可按下式计算

$$V_R \geq \sqrt{2} U_1, \quad I_F \geq I_1/2$$

式中 U_1 、 I_1 ——同前。

第二节 发电机励磁装置及相关电路

一、发电机励磁方式的选择

小型水轮发电机的励磁方式有直流励磁机励磁方式、晶闸管自励恒压励磁方式、半导体整流自励恒压励磁方式、相复励磁方式和三次谐波励磁方式等。目前采用最多的是晶闸管自励恒压励磁方式。

1. 直流励磁机励磁方式

这是一种最早的传统励磁方式。励磁机通常与发电机同轴安装于发电机的一端。励磁机的容量一般为发电机容量的 $1\% \sim 2\%$ 。励磁系统的原理电路如图 1-4 所示。

调节励磁机磁场变阻器 RP ，便可改变励磁机的输出电压，从而调节发电机的励磁电流而达到改变发电机输出电压的目的。

由于直流励磁机励磁方式有诸多缺点（见表 1-3），现已逐渐被晶闸管等励磁方式所代替。

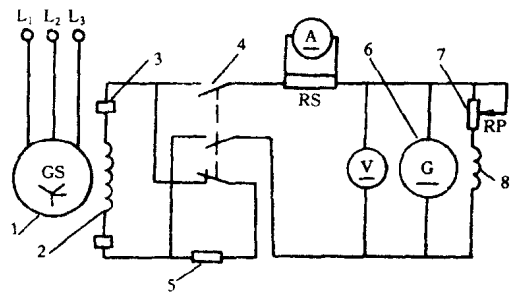


图 1-4 直流励磁机励磁方式原理电路

- 1—定子；2—转子；3—滑环；4—灭磁开关触头；
5—灭磁电阻；6—直流励磁机；7—磁场变阻器；
8—励磁机分激磁场绕组

表 1-3 各种励磁方式的比较

励磁方式	优 点	缺 点
直流励磁机励磁	1. 过载、过压能力较强 2. 并网、并车较易 3. 对于并网运行的发电机，当外电网出现故障时，不会影响励磁系统的正常运行	1. 起动能力较差 2. 负载变化时，电压瞬时变化大，电压稳定所需时间较长 3. 电刷、换向器等故障较多，维护保养较麻烦 4. 体积较大，投资较高
晶闸管自励恒压励磁	1. 反应速度快，突然加、卸负载时电压瞬时变化小，稳态调压率可达 $\pm 1\%$ 左右 2. 体积小，重量轻	1. 线路较复杂，调整、试验、维修需有较高技术水平 2. 晶闸管过载能力差 3. 对无线电有干扰
半导体自励式励磁	1. 调节性能好，反应速度快，动态品质好，具有较高的强励能力 2. 成本较低 3. 操作维护较晶闸管自励恒压励磁方便	1. 线路较复杂 2. 易受电网的影响
相复励磁	1. 能随负载电流和功率因数调节发电机电压 2. 稳态、动态性能较好，稳态电压调整率一般在 $\pm 3\%$ 以内，突然加、卸负载时电压瞬时变化较小，电压稳定时间约为 $0.2s$ 3. 过载能力较强，能顺利起动较大容量的异步电动机	1. 励磁效率较低 2. 负载突变时，反应较晶闸管自动恒压励磁慢 3. 并网性能较差 4. 体积较大，重量较重

励磁方式	优 点	缺 点
三次谐波励磁	1. 稳态、动态性能较好, 稳态电压调整率一般在 $\pm 3\%$ 以内, 突然加、卸负载时电压瞬时变化小, 电压稳定时间较短 2. 励磁能力大, 能直接起动接近自身容量的异步电动机 3. 设备简单, 价格便宜, 维护量少, 工作较可靠	1. 发电机电压波形畸变较大 2. 主机并联运行较困难, 无功负载与有功负载分配不稳定, 谐波电势增强到一定限度将会引起振荡, 无法运行。降低谐波电势会使无功出力不足 3. 更换或检修定子绕组时, 需先拆除谐波绕组, 增大了检修工作量

2. 晶闸管自励恒压励磁方式

晶闸管自动励磁装置型号较多,其原理电路和工作原理请见本节二~十四项。

3. 半导体自励式励磁方式

原理电路如图 1-5 所示。图中, U_1 —三相整流装置, U_2 —三相晶闸管整流装置, T —励磁变压器, TA_1 —励磁变流器, TA_2 —电流互感器, TV —电压互感器, ZLT —自动励磁调节器。

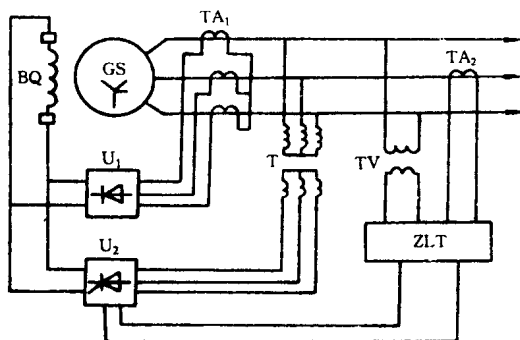


图 1-5 半导体自励式励磁方式原理电路

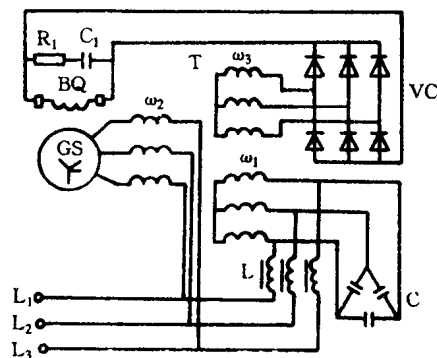


图 1-6 相复励励磁方式原理电路

励磁装置的主回路由两部分组成：一是晶闸管励磁部分，由励磁变压器 T 供电，经三相（或两相）半控桥式整流器供给转子电流。晶闸管输出的电流由自动调节器自动控制，也可手动调节控制；二是复励部分，由励磁变流器 TA₁ 供电，经过三相桥式整流器供给转子电流，其输出电流与发电机定子电流成比例。发电机空载时输出励磁电流为零；发电机带负荷运行时，励磁电流大半由复励电流供给；当发电机外部短路时，复励部分输出强行励磁。

4. 相复励励磁方式

原理电路如图 1-6 所示。图中，T—相复励变压器，L—电抗器，VC—硅整流器，C—电容器。

励磁装置由相复励变压器、电抗器、电容器和硅整流器等组成。当发电机起动后,发电机转子上的剩磁在定子绕组上感应出交流电压,此电压加到相复励变压器绕组 ω_1 上,使绕组 ω_2 感应出交流电压,经硅整流器 VC 整流后作为发电机转子的励磁电流。同时绕组 ω_3