

瓦时容量 = 安时容量 × 平均放电电压

通常采用第一种表示方法,所以确定蓄电池组的容量时,应考虑放电电流的大小和放电时间的长短。

所谓蓄电池放电率,是指相对于蓄电池容量的放电电流的大小,通常用放电至终止电压时,可维持放电电流的时间表示。用大于标准放电率的电流放电时,蓄电池容量会降低,这可用蓄电池容量系数 K 来表征。 Q 系列蓄电池容量系数如表 2.2.7.1 和表 2.2.7.2 所示。不同蓄电池的容量系数是不同的,无确切资料时,可由图 2.2.7.1 查取。

表 2.2.7.1 Q 系列蓄电池容量系数(以 10h 放电率为标准)

放电率/h	容量系数/%
10	100
6	86
5	82
3	68
1	42
0.5	30

表 2.2.7.2 Q 系列蓄电池容量系数(以 20h 放电率为标准)

放电率/h	容量系数/%
20	100
18	99
10	93
5	76
3	63
1	39
0.5	28

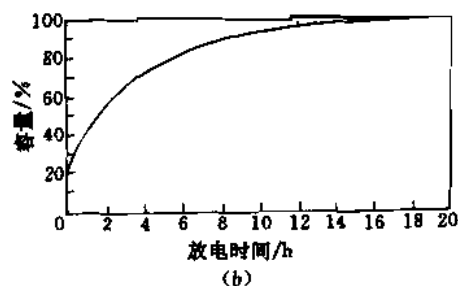
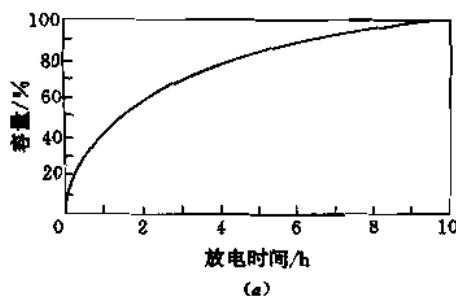


图 2.2.7.1 Q 系列蓄电池容量系数
(a) 10h 放电率; (b) 20h 放电率。

2.2.7.2 放电电流小于标准放电率的电流时蓄电池容量计算

计算公式如下:

$$Q = \frac{Pt}{U} = It \quad (2.2.7.1)$$

式中 Q ——所需蓄电池容量(Ah);

P ——负载功率(W);

U ——负载电压(V);

I ——负载电流(A);

t ——负载工作时间(h)。

例如某万吨级货船的应急照明蓄电池容量计算结果如表 2.2.7.3 所示。选 728Ah, 可以选用 6-Q-182 型 12V、182Ah 酸性蓄电池 16 个, 组成两组, 采用一充一放供电方式。每组 8 个, 每两个串联成 24V, 再并联即可。

表 2.2.7.3 某万吨级货轮应急照明蓄电池容量计算

序号	项 目	参 数
1	机舱应急照明/W	130
2	外走道应急照明/W	130
3	内走道应急照明/W	120
4	救生艇应急照明/W	200
5	舱内应急照明/W	40
6	低压航行灯/W	300
7	总功率/W	920
8	蓄电池额定电压/V	24
9	放电时间/h	18
10	蓄电池容量系数 ^①	1
11	蓄电池容量/Ah	690
12	选用的蓄电池容量/Ah	728
① 由于本船蓄电池采用两组一充一放式, 故蓄电池容量系数取 1, 按 20h 放电率选用, 可以满足 18h 放电时间要求		

2.2.7.3 放电电流大于标准放电率的电流时蓄电池容量计算

计算公式如下:

$$Q = \frac{Pt}{UK} = \frac{It}{K} \quad (2.2.7.2)$$

式中 K ——蓄电池容量系数;

Q, P, I, t ——同式(2.2.7.1)。

例如某训练医疗船, 用蓄电池组作为船舶临时应急电源, 考虑用电时间为 0.5h, 所以可以考虑其放电电流大于标准放电率的电流, 按 10h 放电率标准选用蓄电池时, 由表 2.2.7.1 可知, 当放电率为 0.5h 时, 其容量系数为 0.3。计算结果列入表 2.2.7.4, 需要蓄电池容量 277.7 Ah。该船选用蓄电池组为 500Ah。

由表 2.2.7.4 可知, 总消耗功率为 4006W, 负载电流(相当于蓄电池放电电流)为 167A。可

见蓄电池放电电流大于标准放电率的电流。

表 2.2.7.4 临时应急电源蓄电池容量计算

序号	用 途	消耗功率/W	用电时间/h	蓄电池容量系数 K	需要容量/Ah
1	航行灯	390	0.5	0.3	27
2	失控灯	130	0.5	0.3	9.03
3	手提白昼信号灯	60	0.5	0.3	4.2
4	临时应急照明	1274	0.5	0.3	88.4
5	助航分电箱	155	0.5	0.3	10.79
6	灯板控制箱	1000	0.5	0.3	69.4
7	发电机充磁	50	0.5	0.3	3.5
8	机舱集控台	100	0.5	0.3	6.9
9	二氧化碳施放控制箱	50	0.5	0.3	3.5
10	电罗经	20	0.5	0.3	1.39
11	广播	480	0.5	0.3	33
12	通用报警	297	0.5	0.3	20.6
总 计		4006			277.7

2.2.8 电源变压器容量的确定

2.2.8.1 概述

船用电源变压器的设置,通常是为了给低于主电源电压的用电设备供电,有时用于给高于主电源电压的设备供电或作为隔离变压器使用。

电源变压器的设置,大体上可分为有备用变压器和没有备用变压器两种方式。

有备用变压器时,所选用的变压器容量,应保证具有足够的容量给变压器副边用电设备供电;而后者,通常是选用 3 台单相变压器以 Δ - Δ 形接线方式供电。当其中一台故障时,拆除后,仍可以作为 V 形接线的三相变压器供电,但此时变压器的副边输出仅为 Δ - Δ 形接线的 $1/\sqrt{3}$,所以变压器应按 V 形接线时仍能保证变压器副边用电设备的用电来确定其容量。

2.2.8.2 计算方法

电源变压器容量的确定,应根据用电设备额定功率、以及各负载功率因数和同时使用系数计算求得。通常可以采用下式:

$$Q_T = \sum \frac{K_i P_{Li}}{PF_i} \quad (2.2.8.1)$$

式中 Q_T ——所需变压器容量(kVA);
 P_{Li} ——用电设备额定功率(kW);
 K_i ——各类负载同时使用系数;
 PF_i ——各类负载的功率因数。

2.2.8.3 有备用变压器时电源变压器容量的确定

以 412TEU 集装箱船主变压器容量计算为例,计算结果如表 2.2.8.1 所示为 44.3kVA。该

船选用3个容量为30kVA的单相变压器组成三相变压器容量为90kVA,另备一台容量为30kVA的单相变压器。

表 2.2.8.1 412TEU 集装箱船主变压器容量计算

序号	名 称	功 率/kW	功率因数 PF	使用系数 K	所需容量/kVA
1	航行灯	0.42	1	0.7	0.30
2	甲板工作灯	5.8	0.8	0.7	5.10
3	货舱灯	2.5	0.8	0.8	2.50
4	电工试验板	5	0.8	0.5	3.13
5	舱室照明灯	10.5	0.8	0.9	11.81
6	机舱照明灯	5.8	1	1	5.8
7	厨房设备	13	1	0.5	6.5
8	1号雷达	1	0.8	0.8	1.0
9	无线电设备	3	0.8	0.7	2.63
10	日用电器	2.4	0.8	0.5	1.5
11	主机集控台	2	0.8	0.6	1.5
12	电源插座	5	1	0.5	2.5
13	所需变压器容量				44.3

2.2.8.4 无备用变压器时电源变压器容量的确定

例如某集装箱船装有8个冷藏集装箱,每个冷藏集装箱的装置功率为11kW,考虑同时使用系数为0.7时,则该冷藏集装箱用变压器容量根据式(2.2.8.1)计算如下:

$$Q_T = 8 \times \frac{P_L K}{PF} = 8 \times \frac{11 \times 0.7}{0.8} = 77 \text{ kVA}$$

考虑到该电源变压器在V形接线时仍能保证供给77kVA电力,故变压器容量至少应为77kVA的 $\sqrt{3}$ 倍,即133.37kVA。故可选用3台容量为50kVA的单相变压器,组成 Δ - Δ 形接线的三相变压器。

第3章 船用电源装置

2.3.1 船用发电机

2.3.1.1 船用发电机的基本要求

船用发电机是重要的电源装置,要求其可靠性高、易于维护管理;再加上船内单机最大负载容量接近于船内电源容量,则要求负载启动和停止时发电机瞬时电压波动应尽可能的小;为了在发生短路故障时能够实现良好的选择性保护,对发电机短路强度提出明确的要求。因此,除了发电机的结构和材料应满足有关规范和规则的要求外,就发电机的特性而言,尚应注意下述基本要求:

1. 与原动机的配合,应注意下述各点:

1) 旋转不匀度——与柴油机直接连接的发电机,在一转中的角速度是不均匀的。单独运行时,旋转的不均匀将导致出现电压波动,因此必须注意研究飞轮及发电机转子的转动惯量,使其旋转不匀度在规定的限度内。

2) 原动机的冲击振动和发电机的固有振动的关系——研究原动机的冲击振动频率和发电机的固有频率(或并联运行的合成频率),必要时应进行飞轮转动惯量设计,以避免工作在共振区域。

3) 功率脉动——由柴油机驱动同步发电机并联运行时,由于原动机旋转不均匀,产生电角位移,故通有同步电流,产生功率脉动。为了将该脉动控制在允许限度内,一般将单独运行时的最大相差角位移取3电角度。为此,必须选择适当的飞轮转动惯量。

4) 柴油发电机和涡轮发电机并联——必须认真研究前述旋转不匀度、共振频率和功率脉动问题,这是因为通常柴油发电机和涡轮发电机的转速相差甚大,涡轮发电机的转动惯量比柴油发电机的转动惯量小得多,导致两者并联运行时的固有振动频率难以满足上述要求的可能性增大,所以特别要注意转动惯量的决定。

5) 柴油机驱动发电机的轴径——柴油机是多质点振动系,当扭振与发电机轴系的自然振动频率相一致时,便处于共振状态,是很危险的,应考虑避免共振出现。

6) 高增压柴油机驱动发电机——一般将平均有效压力大于 12kg/cm^2 称为高增压柴油机,与低增压柴油机相比,其瞬时速度波动率大,对于无自动电压调整器的自励交流发电机,电压恢复时间加长;对无刷发电机来讲,这种影响也很大。故当负载波动率较大时应特别注意。

2. 发电机原动机的调速器性能应符合下述规定:

柴油机调速器的调速特性——当突然卸去额定负载时,其瞬时调速率不大于额定转速的10%;稳定调速率不大于额定转速的5%。当在空载状态下突加50%额定负载,稳定后再加上余下的50%负载时,其瞬时调速率不大于额定转速的10%;稳定调速率不大于额定转速的5%;稳定时间(转速恢复至波动率为 $\pm 1\%$ 范围的时间)不超过5s。并联运行发电机,其原动机调速器的稳定调速率应尽量相同。

燃气轮机调速器的调速特性——当突然卸去满负载时,瞬时调速率不大于额定转速的10%,稳定调速率不大于额定转速的5%,稳定时间(转速恢复至波动率为 $\pm 1\%$ 范围内的时间)不超过5s。并联运行的交流发电机组,其原动机调速器的稳定调速率应尽量相同。

3. 并联运行发电机组原动机的调速器特性应保证发电机负载分配要求。并应设有足够精细的调速器调节机构,以便在正常频率下,能进行小于发电机额定功率5%的负载调节。

4. 发电机应能承受下列过电流而不发生有害变形:

直流发电机——承受50%过电流,15s;

交流发电机——承受50%过电流,2min。

5. 发电机应能在选择性保护装置的任何延时脱扣时间内,耐受短路电流所产生的机械应力和热效应。交流发电机及其励磁系统,在稳态短路状态下,至少应能维持3倍额定电流历时2s。只有掌握了精确的数据,才允许将持续时间定为脱扣器所整定的延时脱扣时间。

6. 直流发电机还应满足下述要求:

1) 直流发电机的励磁形式,一般应采用复励式或带有自动电压调整的并励或稳定并励式(具有少量串励绕组的分励电机)。

2) 每一直流发电机均应在其控制屏上设有能单独对其电压进行调节的手动电压调整器。在发电机所允许的工作范围内,以及负载自空载至额定负载之间的任何负载下,电压在额定值的80%~105%范围内,对于额定输出超过100kW的发电机,其电压调整的精确度为额定电压的0.5%以内;对于额定输出不超过100kW的发电机,其电压调整的精确度为额定电压的1%以内。

3) 在考虑了原动机调速特性的情况下,复励直流发电机组在热态下的电压负载特性应为:当负载为发电机额定功率的20%时,其发电机的电压偏差在额定电压的1%以内;负载为满载时,其电压偏差在额定电压的2.5%以内;在20%负载至满载之间,电压负载特性的上升曲线和下降曲线的平均曲线与额定电压的偏差应不大于4%。

4) 并联运行的各直流发电机组均应能稳定运行,且当负载在总额定负载的20%~100%范围内变化时,各机组所承担的负载与总负载按机组额定功率比例分配之差,应不超过最大机组额定功率的 $\pm 12\%$;当最小机组的额定功率小于最大机组额定功率的50%时,应不超过最小机组额定功率的 $\pm 25\%$ 。

7. 交流发电机还应满足下述要求:

1) 交流发电机除自励恒压式外,均应在发电机控制屏上设有独立的自动和手动电压调整器。

2) 由调速特性满足规范要求的原动机驱动的交流发电机连同其励磁系统,应能在负载自空载至额定负载范围内,且其功率因数为额定值情况下,保持其稳定电压的变化值在额定电压的 $\pm 2.5\%$ 以内。应急发电机可允许为 $\pm 3.5\%$ 以内。

3) 在负载为空载、转速为额定转速、电压接近额定电压的状态下,突加和突卸60%额定电流及功率因数不超过0.4(滞后)的对称负载时,当电压跌落时,其瞬态电压值应不低于额定电压的85%;当电压上升时,其瞬态电压值应不超过额定电压的120%,而电压恢复至与最后稳定值相差3%以内所需的时间,不应超过1.5s。

4) 额定功率大于24kW的交流发电机的空载线电压波形正弦性畸变率不应超过5%。

5) 并联运行的各交流发电机组均应能稳定运行,且当负载在总额定负载的20%~100%范围内变化时,各机组所承担的有功负载与总负载按机组额定比例分配值之差,应不超过最大

机组额定有功功率的 $\pm 15\%$ 和最小机组额定有功功率的 $\pm 25\%$;各机组所承担的无功负载与总无功负载按机组定额比例分配值之差,应不超过最大机组额定无功功率的 $\pm 10\%$ 和最小机组额定无功功率的 $\pm 25\%$ 。

8. 由于船用发电机是极其重要的电源装置,所以有关规范都要求进行必要的试验,这些试验项目通常包括:

- 温升试验;
- 绝缘电阻试验;
- 过电流试验;
- 短路试验(根据需要);
- 耐电压试验;
- 电压调整率试验;
- 并联运行试验等。

2.3.1.2 发电机电压及无功功率自动调整^[1,8,9]

直流发电机大多采用积复励型式,当负载发生变化时,其磁场中的串励绕组流过的电流也随之变化,从而合成磁场便随负载变化自动地改变,使发电机端电压基本上保持不变,所以在没有特殊要求的船舶上,直流发电机一般不需装设电压自动调整器。

在交流电制的船舶配电系统中,由于用电设备多为感性负载,负载电流对交流同步发电机是起去磁作用,负载电流大小和功率因数的变化都会引起发电机端电压的变化,所以船用交流同步发电机必需设有电压自动调整器,否则会影响发电机输出电压的稳定性,降低供电质量,甚至会影响用电设备的正常工作。

由于目前船舶大多采用交流配电系统,并以交流同步发电机为电源装置,故这里仅对交流发电机电压及无功功率自动调整加以说明。

1. 电压自动调整器的任务

1) 在船舶电力系统正常运行工况下,要求船舶电网电压维持在某一允许范围内,为此,要求发电机端电压几乎不变。这样一来,发电机的励磁电流必须适时地作相应的调整。这一任务是由电压自动调整器来完成。

2) 为了保持发电机组并联运行的稳定,各并联发电机间无功功率必须进行合理地分配。这一任务也是由电压自动调整器来完成。

3) 在船舶电力系统发生短路故障时,为了提高船舶电力系统发电机组并联运行的稳定性和继电保护装置动作的可靠性,需要励磁系统适时地进行强行励磁。这一任务也是由电压自动调整器来完成。

2. 对电压自动调整器的基本要求

除要求结构简单、使用可靠、灵敏度高和调整的过渡过程短等外,还必须满足下述基本要求:

1) 同步发电机端电压在允许范围内——为了保证供电质量,要求发电机突卸和突加负载时,其电压调整性能的静态指标和动态指标以及发电机组并联运行时无功功率分配不均匀度指标必须满足有关规范和规则的要求。

2) 强行励磁——当发电机负载突然增大或电力系统发生短路时,发电机电压会突然下降很大,甚至使电力系统运行不稳定。要求强励系统应能保证在短时间内将励磁电流升高到超

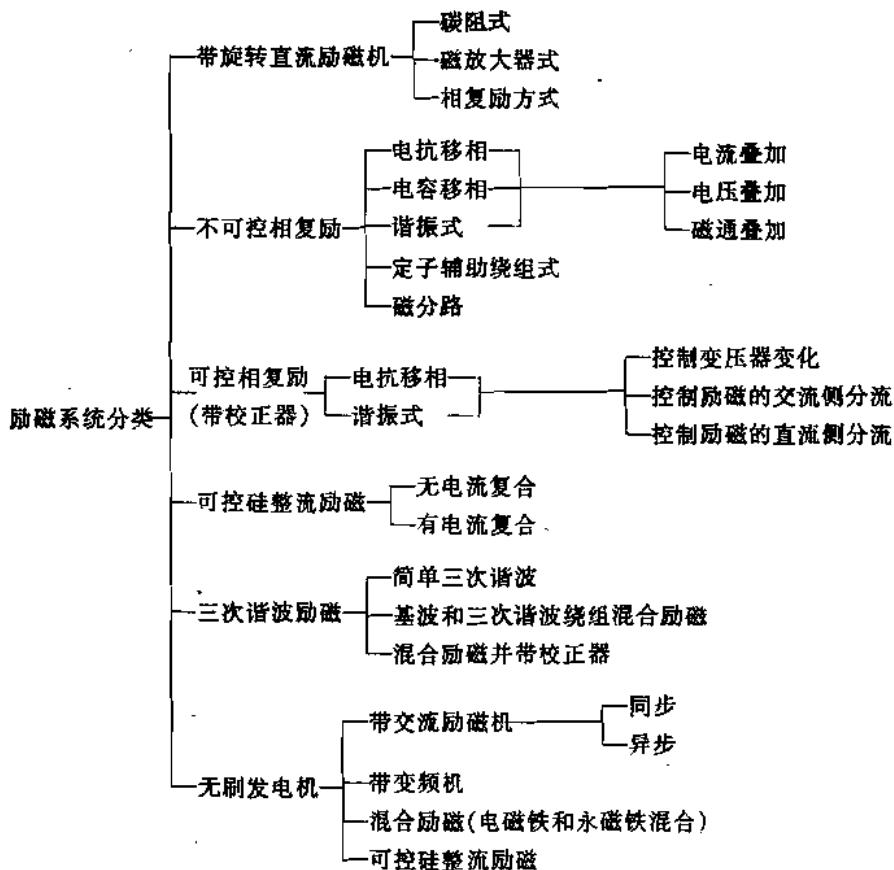
过额定状态的最大值,使发电机电压迅速得到恢复;同时强行励磁也能使发电机的电势和短路电流大为增加。对保证电站运行的稳定性和保证继电保护装置动作的可靠性是必要的。

3) 合适的放大系数——电压自动调整器的放大系数是被调量的变化值与被测量的变化值的比值。一般来说,提高放大系数可以提高发电机电压自动调整器的静态特性等指标;但放大系数过大时,会使调整系统不稳定,甚至会影响整个电力系统运行的稳定性。所以,保证合适的放大系数是必要的。

4) 自励同步发电机的起始励磁——电压自动调整器系统在任何情况下,均应能保证发电机的起始励磁,以保证发电机正常电压的建立。

3. 电压自动调整器的分类

按照励磁系统的工作原理,可以大致分类如下^[8]:



尽管同步发电机各种励磁调整方式的工作原理有所不同,但是其励磁调整方法都是采用电压偏差、负载电流、电流相位三种原理。所以,从这一调整方法出发,又可分为:

按发电机电压偏差进行电压调整——被测量和被调整量都是发电机电压,是一个闭环系统,其静态电压调整特性比较好。

按发电机负载电流和相位进行电压调整——发电机的电压受负载电流和负载功率因数的变化来调整,是一个开环控制系统,其静态电压调整特性比较差,但动态电压调整特性较好。

按发电机电压偏差、负载电流和相位进行电压调整——发电机的电压既受发电机电压偏差的调整,又受负载电流和负载功率因数的调整,所以,其静态电压调整特性和动态电压调整

特性都比较好。

还有按发电机负载电流进行电压调整及按发电机电压偏差和负载电流进行电压调整。

部分电压自动调整器的基本环节线路如图 2.3.1.1 ~ 图 2.3.1.5 所示,供参考。图中 1—线性电抗器;2—电流互感器;3—整流器;4—谐振电容器;5—相复励变压器;6—电压校正器;7—自动整步仪。

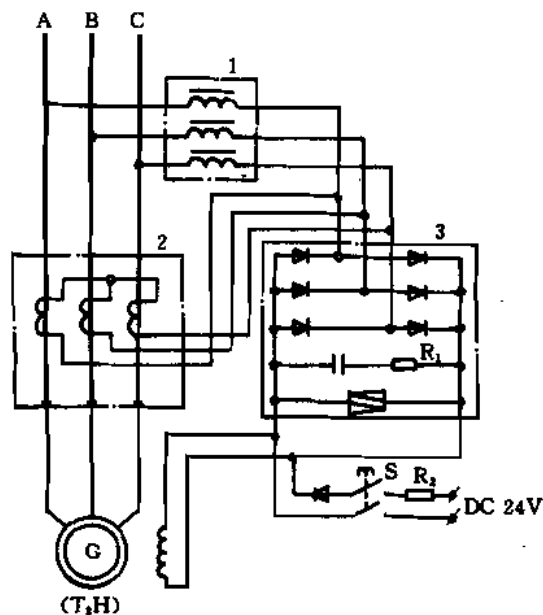


图 2.3.1.1 电流电压复合不可控相复励调压器

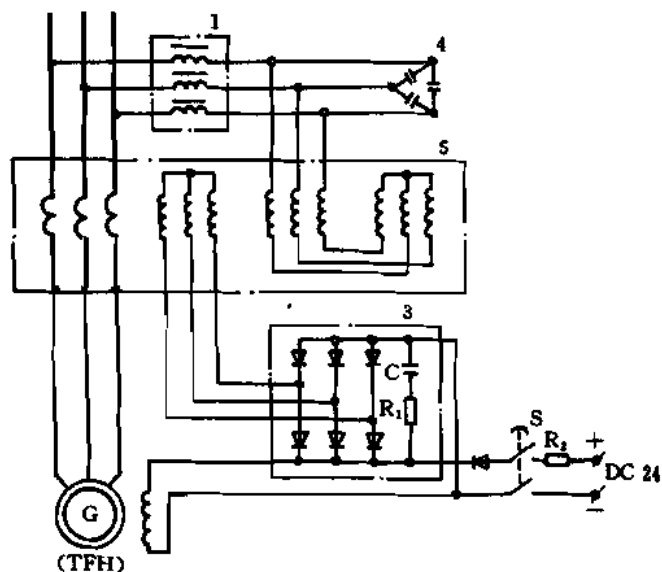


图 2.3.1.2 带电压曲折四绕组不可控相复励调压器

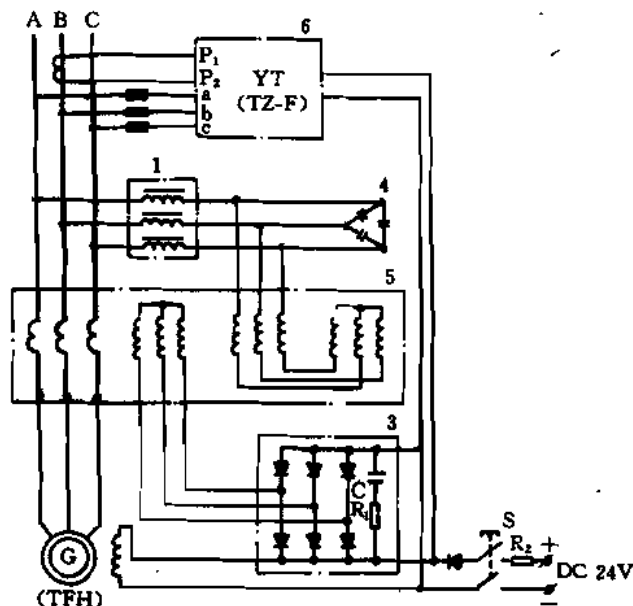


图 2.3.1.3 带可控硅电压校正
四绕组相复励调压器

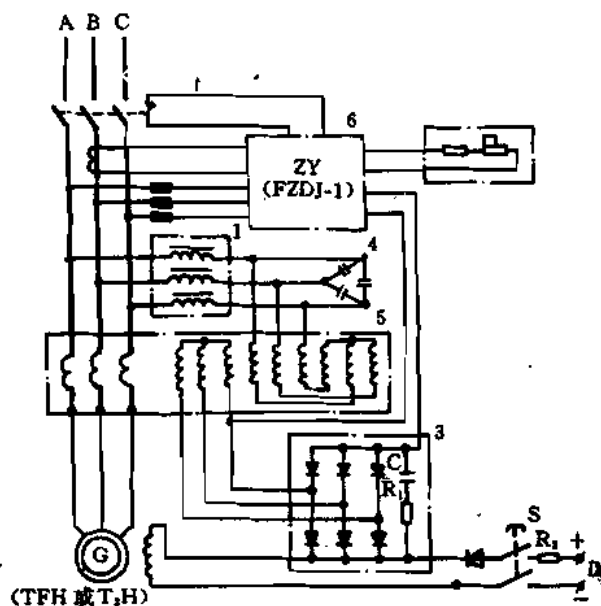


图 2.3.1.4 带交流分流自动电压校正
器相复励调压器

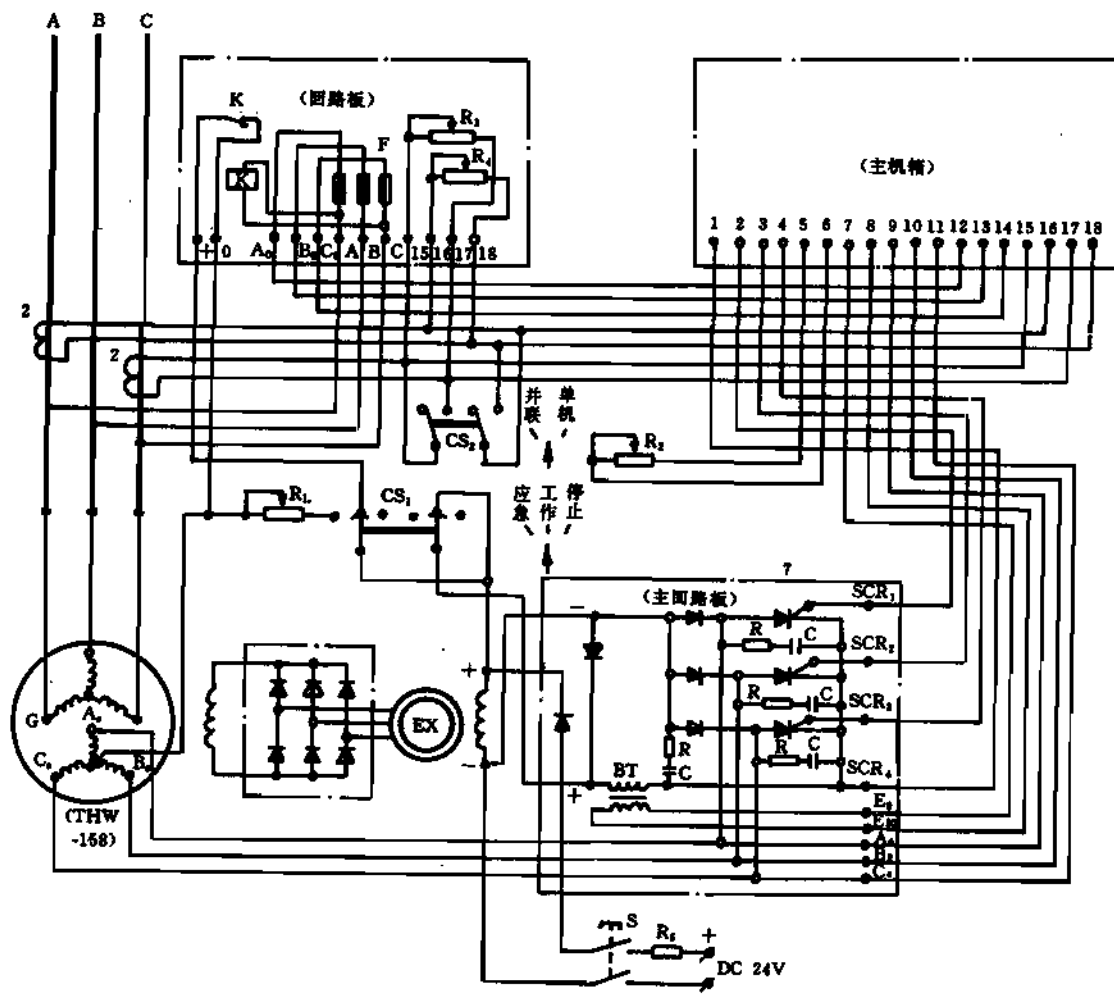


图 2.3.1.5 无刷谐波晶闸管整流励磁电压调整器

4. 保证同步发电机自励起压的方法

通常采用提高发电机空载特性和降低励磁特性方法来实现。

提高发电机空载特性的方法有：

- 1) 加大发电机的剩磁。
- 2) 在励磁系统中外加电源充磁。

降低励磁特性的方法有：

- 1) 将电压回路的串联阻抗完全或部分分路。
- 2) 在电压回路中建立谐振回路。
- 3) 选择具有小的正向电阻的整流器或用电容作复励阻抗。

5. 并联运行发电机间无功功率分配

发电机间无功功率的分配取决于发电机的励磁特性。带有电压自动调整器的发电机的外特性可分为无差特性和有差特性两种,如图 2.3.1.6 所示,与接入的励磁系统有关。

无差特性无法实现并联运行发电机间无功功率的合理分配。因为并联运行发电机外特性都为无差特性,所以保持并联

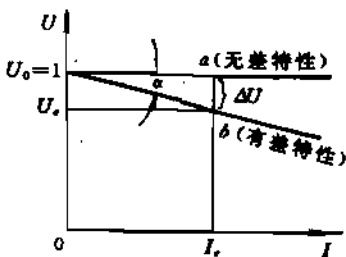


图 2.3.1.6 发电机外特性曲线

运行必须外特性处处重合,且斜率为零,这是很难满足的,而且稍有外界干扰,必定导致工作点漂移,且无确定工作点,因此不可能均匀分配负载,甚至导致并联运行发电机解列。因此,从并联运行的角度来看,总希望发电机外特性为有差特性。此时并联发电机间无功功率的分配将取决于其外特性的斜率,即调差度的大小。

由图 2.3.1.6 可知,其调差度为:

$$K_c = \frac{U_0 - U_c}{U_0} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.3.1.1)$$

式中 K_c ——调差度;

U_0 ——空载电压相对值;

U_c ——额定负载时电压的相对值;

α ——外特性曲线倾斜角。

为使发电机间无功功率分配均匀,便要求各发电机的外特性斜率相同。通常是采用均衡联结和调差电路两种方法来实现的。

均衡联结也称均压线联结。不可控相复励自励恒压同步发电机并联运行时,为了保证并联运行发电机的外特性的斜率相等,必须采用均衡联结。均衡联结有直流均衡联结和交流均衡联结两种。

直流均衡联结——又称转子均压线接法,如图 2.3.1.7 所示。这种方法只适用于同型号同容量发电机的并联运行。均衡联结的目的就是保证各并联运行的发电机的励磁电流在任何时候都相等,从而达到各发电机承担的无功功率相等。

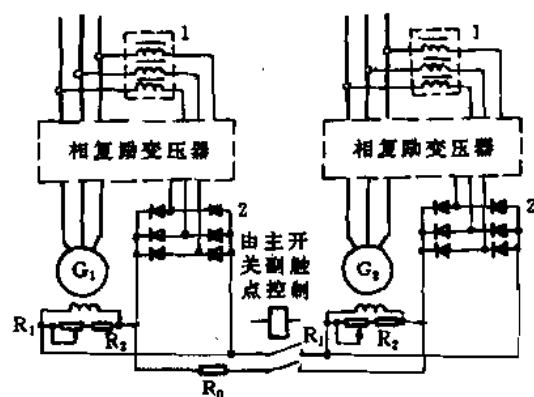


图 2.3.1.7 直流均衡联结
1—电抗器; 2—整流器。

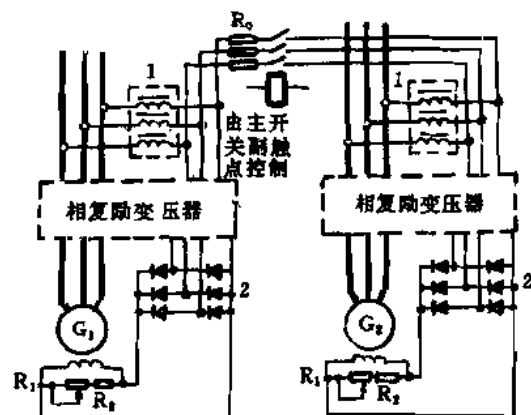


图 2.3.1.8 交流均衡联结
1—电抗器; 2—整流器。

交流均衡联结——又称移相电抗器均压线接法,如图 2.3.1.8 所示,是将并联发电机的调压装置的移相电抗器并联。由于是在移相电抗器和相复励变压器电压绕组之间并联,所以同样可以达到转子均压线接法的目的,保证各并联运行发电机的励磁电流在任何时候都相等,达到各发电机承担的无功功率相等。

调差电路——为了并联,要求发电机外特性是有差的,如图 2.3.1.6 所示,负载电流升高时,端电压应有所下降。按电压偏差信号进行调节的励磁装置,只要电压偏离给定值,就自动地调节发电机的励磁电流,使端电压维持不变,这种励磁装置实际上使发电机的外特性接近于无差特性。在励磁回路中加入电流信号,可以得到有差特性,调节电流信号的大小便可以调整发电机外特性的斜率,这种加入电流信号调整发电机外特性斜率的电路称为调差电路。图

2.3.1.9 中的调差电路是在电压自动调整器的电压测量回路中加入一个电流信号环节,使无功负载增加时,电压测量环节输出电压 \dot{U}_f 也相应增加,则电压校正器便送出减弱励磁的信号,使发电机端电压有所下降,从而得到有差特性。调节电阻 R_1 值的大小,可使发电机的调差度在 0~6% 范围内变化,以保证并联运行发电机间无功功率的均匀分配。

图 2.3.1.10 是可控相复励电压自动调整器中加入调差电路的实例。它是将一相电流经电流互感器和整流器送至磁放大器的控制绕组 W_c ,其极性应满足当负载电流增加时,磁放大器的输出电流也增加,相复励变压器输出的励磁电流相应减小,使发电机端电压下降,调节 R_{12} 值的大小,可以调节调差度的大小。

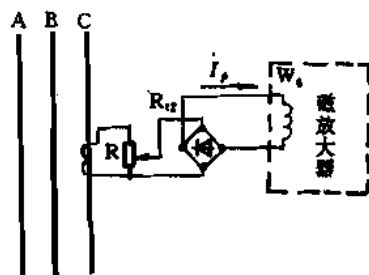
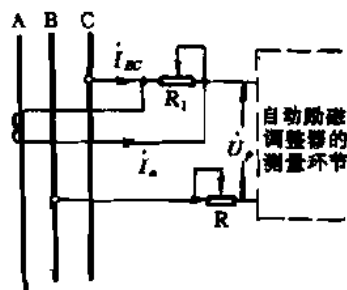


图 2.3.1.9 加在电压测量回路中的调差电路 图 2.3.1.10 加在可控相复励电压自动调整器中的调差电路

无功功率自动分配——按电压偏差进行调节的励磁系统,当控制回路具有足够的放大系数时,则可以达到较高的调节精度,可以近似认为是无差特性,从发电机单机运行角度来看,这种调压精度是十分理想的;但是,从并联运行的角度来看却是不理想的。如前所述,为了获得稳定的并联运行,必须采用调差电路,以使发电机外特性为有差的。因此,在并联运行时,降低了这种系统的电压稳定度。可见,提高电压的稳定度和并联运行的稳定性是矛盾的。通常的作法是采用调差电路,将调差度控制在合适的范围内,使电压的稳定度和并联运行的稳定性得到兼顾,经验表明,调差度取 3.5% 左右比较合适。像图 2.3.1.9 和图 2.3.1.10 那样采用发电机负载电流作为控制信号对励磁电流进行调整的调差电路,不管并联运行发电机间无功功率是否均匀,只要负载电流存在,发电机端电压就会下降,显然是不理想的。目前采用的如图 2.3.1.11 所示的无功功率自动分配线路可以解决上述不足。该线路是按电压偏差和无功功率偏差两个信号同时对发电机的励磁进行自动调整,既提高了并联运行发电机的调压精度(可接近无差特性),又能提高并联运行的稳定性,达到无功功率自动分配的目的。此时发电机外特性如图 2.3.1.12 所示。该线路在运行过程中只需将发电机空载电压整定为额定值即可,而不需要对励磁进行人员调整,有利于船舶电站自动化。

2.3.1.3 发电机频率及有功功率自动调整

1. 发电机频率调整的目的

船舶电力系统的频率波动,会对电力系统运行的可靠性和经济性带来不良影响。不仅会影响无线电通信和观通导航设备的正常工作,更严重的会使电动机运行恶化。当频率降低时,在电动机端电压不变的情况下,会使电动机铁芯和绕组发热;会使转速下降,使轴上输出功率和效率都降低。当频率升高时,在电动机端电压不变的情况下,会使电动机起动转矩减小;会使转速升高,对于转矩不变的机械负载,其输出功率必然增加,使电动机过载。众所周知,原动机在额定转速(即发电机在额定频率)下运行,其经济性最好,偏离额定转速(即发电机频率波

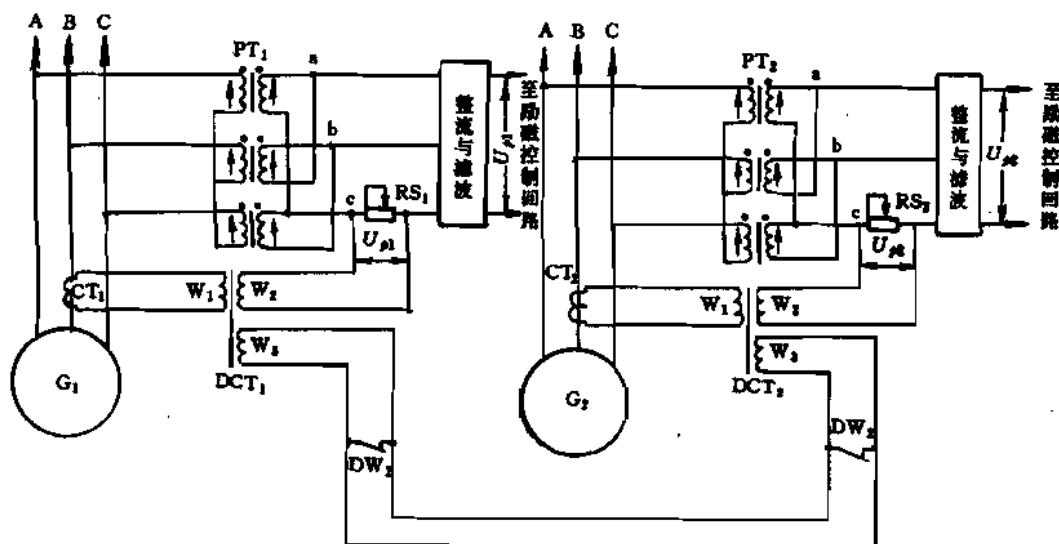


图 2.3.1.11 无功功率自动分配线路原理图

动)时,会使原动机效率降低。

当几台发电机并联运行时,频率调整和发电机间有功功率的分配密切相联。当各机组频率波动时,将会引起有功功率分配的不均匀。频率调整实际上是对原动机转速的调整,所以发电机频率的调整和有功功率分配可以由原动机调速器和自动调频调载装置来实现。

2. 发电机原动机调速特性对发电机频率及有功功率调整的影响

发电机原动机的调速特性分有差的和无差的两种。由于特性不同,对并联运行发电机的频率和有功功率调整的影响也是不同的。现以两台发电机组并联运行为例,简要说明其影响的概况。

1) 两台机组的原动机调速特性都为无差特性

若两台机组并联运行,则两台机组的调速特性曲线应重合为一条,并与横坐标相平行。此时系统的频率只有一个值,系统的总功率在两台发电机间的分配找不到稳定的平衡点。这种调速特性的配合,即使有时保护电器不动作,也会出现功率随机摆动的现象,很难保持两台机组间有功功率分配均匀,所以两台机组原动机的调速特性均为无差特性时,是不能稳定并联运行的,不应采用。

2) 一台机组为无差调速特性,另一台为有差调速特性

两台机组并联运行时,系统频率由具有无差特性的机组保证,系统总负载变化时,负载变化量也将由具有无差特性的机组来承担。要调整有功功率分配,需要调整有差特性的斜率,改变两个特性曲线的交点。在两台机组调速特性不变(即不作任何调整)情况下,系统总负载的变化量将全部由具有无差特性的机组承担,不能保证有功功率按比例分配。所以,除了发电机有功功率按溢流分配原则外,很少采用。

3) 两台发电机组均为有差特性

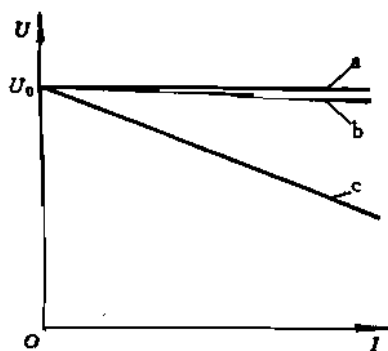


图 2.3.1.12 发电机外特性的比较

- a—单机运行的外特性;
- b—采用无功功率自动分配线路的外特性;
- c—采用一般调整电路的外特性。

发电机间的有功功率分配与调速特性的斜率呈反比关系。同时,原动机的转速(发电机的频率)是随系统负载的变化而变化。由于船上多是采用同型号同容量的机组并联运行。希望调速器型号亦相同,调速特性斜率也相同,此时,系统总负载变化时,两机组增加或减少的功率也是相同的。这种方法在船上应用最多。

3. 频率和有功功率自动调整的方法

对发电机频率的自动调整和自动控制并联运行发电机间有功功率的合理分配,有很多方案可以采用,归纳起来可分为4种^[8]。

1) 有差调整法

所谓有差调整法,是指不再另设自动调频调载装置作为二次调整,各并联机组间只是依靠具有有差调速特性的调速器作一次调节来稳定频率和进行有功功率合理分配。这种方法的优点是简便易行,其缺点是功率分配不能做到完全均匀,承担功率大小与调差系数大小有关,而且并车后的转移负载工作还需人工手动实行二次调整来完成。为了使并联机组的有功功率分配均匀,参与并联机组的原动机调速器应满足下述要求:

- 调速器应有下降的并且调差系数相同的调速特性。
- 调速特性的线性度要好,并尽可能成一直线。
- 负载增加和减少时的调速特性应尽量一致,即原动机调速器的失灵区应尽量小。典型手动调频控制线路,如图 2.3.1.13 ~ 图 2.3.1.15 所示,均以发电机为交流 400V 为例。

2) 虚有差调整法

虚有差调整法,是指参与并联的每一台发电机都装有按频差和功差综合信号进行二次调整的自动控制系统。在其控制下,经常地保持发电机频率为额定值,发电机承担的有功功率是按给定比例进行自动分配。这种方法还可以进行并车后和解列时的负载自动转移。尽管采用

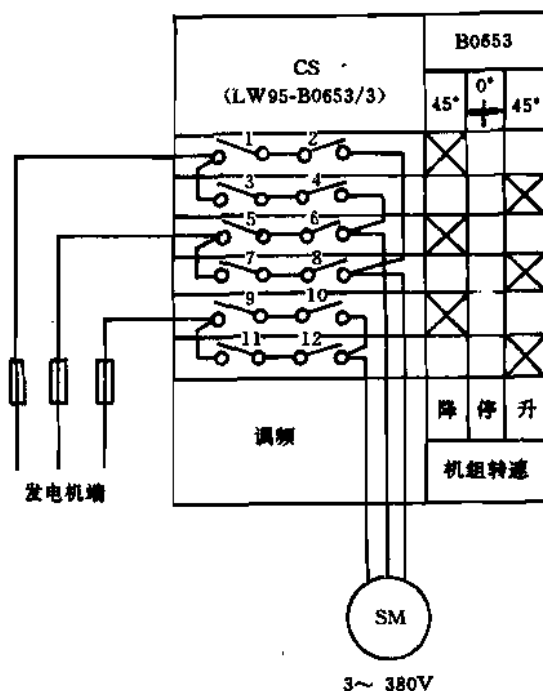


图 2.3.1.13 三相交流 380V 伺服电机手动调频控制线路

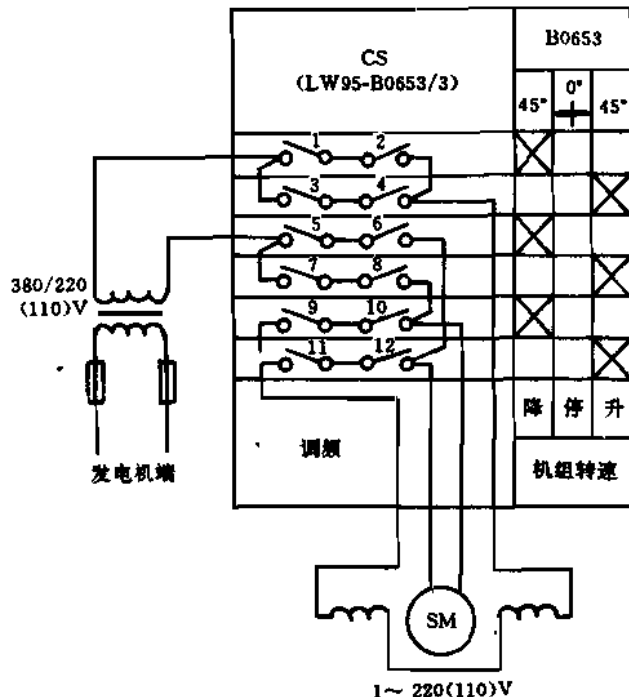


图 2.3.1.14 单相交流 220V(110V) 伺服电机手动调频控制线路

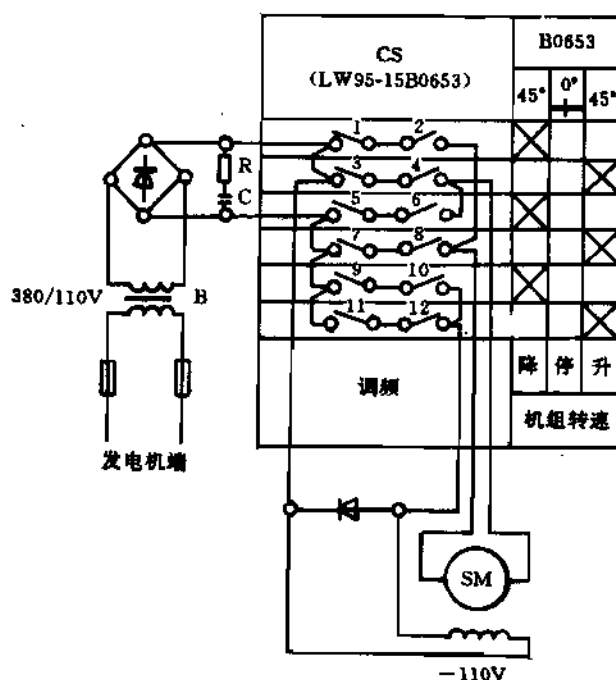


图 2.3.1.15 直流 110V 伺服电机手动调频控制线路

这种方法时,各发电机原动机所装的调速器仍为有差特性,并且调差系数也不相等,但可以实现无差的调整结果。目前船上实际应用的自动调频调载装置大多采用此种虚有差调整法。

3) 积差调整法

积差调整法是指按频差对时间的积分来进行调频的方法。这种方法同时引入与各机组实际功率成正比的功率信号进行比较来校正负载分配,调整完毕时,总是保持频率恒定和按比例分配负载。但此方法避免了虚有差调整法按频差和功差的综合信号实现调频可能使调整器工作过于频繁的不足。

4) 主调发电机法

一台具有无差调速特性和一台具有有差调速特性的发电机组并联方法称为主调发电机法。具有无差调速特性的发电机称为主调发电机,由主调发电机保持频率的恒定和承担总负载的变化量。

两台以上的并联机组均为有差调速特性的发电机组,也可以实现按主调发电机法进行调频和有功功率分配。此时,只需在并联运行的发电机组中选定一台,让其充当“主调发电机”。任务是,当因负载变化而出现频差时,由它进行二次调节,使电网频率维持恒定,并承担总负载的变化量,而其余机组总是带接近额定的负载,运行在效率最高的状态。

采用这种控制方式时,自动调频调载装置仅安装在主调发电机组的调速器上进行二次调节,所以,大大简化了自动调频调载装置。尤其是将具有无差调速特性的发电机组作为主调机时,其优点更为突出。

对于设有废气涡轮发电机和轴带发电机时,废气涡轮发电机或轴带发电机与柴油机并联运行时,采用这种方法最为优越。可根据负载的大小,随时变换主调发电机,使废气涡轮发电机或轴带发电机的功率得到充分利用。实现所谓“负载溢流分配控制”和“负载最佳分配

控制”。

4. 并联运行发电机间的负载分配

交流发电机并联运行时,其发电机间负载分配,通常采用比例分配法、溢流分配法和最佳负载分配法 3 种。

1) 比例分配法

这种分配方法系指并联运行的各发电机组所承担的负载与其容量成比例。这种方法在船上应用最多,而且一般规范中还都明确规定了有关技术要求。为了实现按比例分配,各发电机组均应为有差调速特性。目前船上应用较多的同容量发电机组并联运行,则希望采用同型号机组,调速器型号相同,调速特性斜率也应相同。

2) 溢流分配法

这种分配方法,通常是指并联运行的各发电机组所承担的负载不是与其容量成比例,而是由其中一台基载机承担尽可能多的负载,余下负载由主调机承担。具有无差调速特性的发电机组与具有有差调速特性的发电机组并联运行时,采用这种分配方法较多。由于这种方法实船应用还不普遍,所以有关规范还没有明确规定有关技术要求。

这种方法较多用于废气涡轮发电机和柴油发电机的并联运行。为了节能,应充分使用废气涡轮发电机,而令其承担尽可能多的负载,余下负载由柴油发电机承担。如 700TEU 集装箱船,当废气涡轮发电机与柴油发电机并联运行时,就是采用溢流分配方法,其框图如图 2.3.1.16 所示。该船电站为 2 台柴油发电机和 1 台废气涡轮发电机,容量均为 500kW。利用功率控制方式选择开关,选择负载分配是采用比例分配或是溢流分配。废气涡轮发电机承担的规定负载,是由废气涡轮发电机负载开关控制,本船分 210,255,310,375 和 454kW5 挡;并设有微调开关,保证在其各挡(整定值)的 $\pm 10\%$ 范围内进行微调。柴油发电机承担的最低负载在其额定值的 0 ~ 50% 范围内可调,本船设定为 35%,即 175kW 为下限值。

3) 最佳负载分配法

最佳负载分配方法,通常是指并联运行各发电机组所承担的负载,根据电站的总负载多少,自动选择运行发电机组,并使各发电机组承担最佳负载,使电站处于经济运行状态。为此,

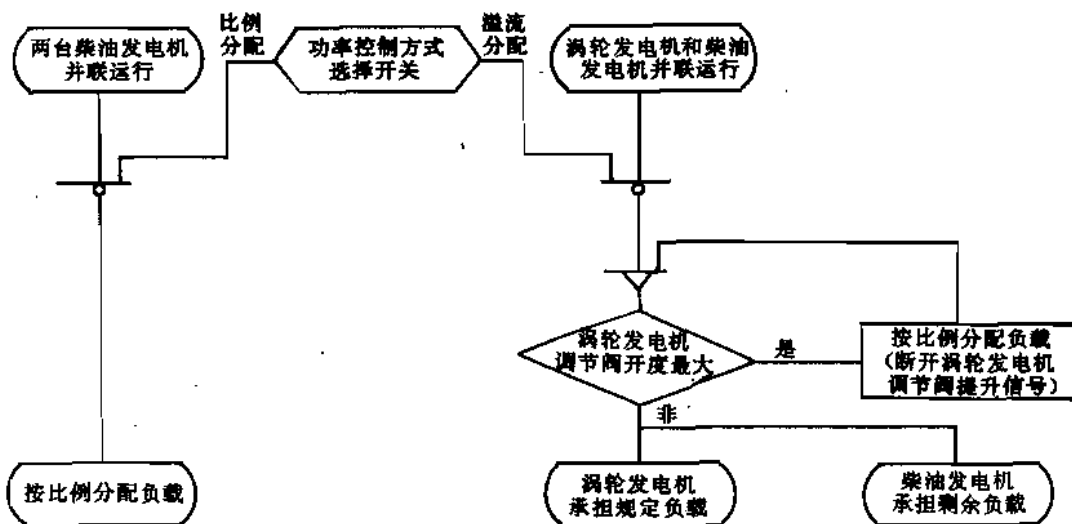


图 2.3.1.16 700TEU 集装箱船发电机并联运行负载分配框图

必须采用计算机控制,所以初投资费用较大。目前仅在自动化水平较高的船舶以及装有废气涡轮发电机等节能措施的船舶上采用。否则,经济效果会受到影响。

以废气涡轮发电机和柴油发电机并联运行为例,通常发电机运行台数的选择及最佳负载分配功率控制如表 2.3.1.1 所示。

表 2.3.1.1 最佳负载分配功率控制

开关调整值/%	发 电 机 运 行 台 数					
	重载/%		高功率/%		轻载/%	
	1	2	2	3	2	3
85	85	85	75	80	75	160
					65	150
90	90	90	80	85	80	170
					70	160
95	95	95	85	90	85	180
					75	170

注: 1 表中重载和高功率系指电站装置每台发电机额定功率百分比。
 2 轻载系指电站装置总负载相当于单台发电机额定功率的百分比。
 3 重载为备用装置自动起动设定值。
 4 轻载为柴油发电机自动停车设定值。
 5 高功率为自动负载转换停止设定值

如果按表 2.3.1.1 所示功率控制原则,假设重载整定为 95%,柴油发电机最低负载限定为 30%,则最佳负载分配如图 2.3.1.17 所示。

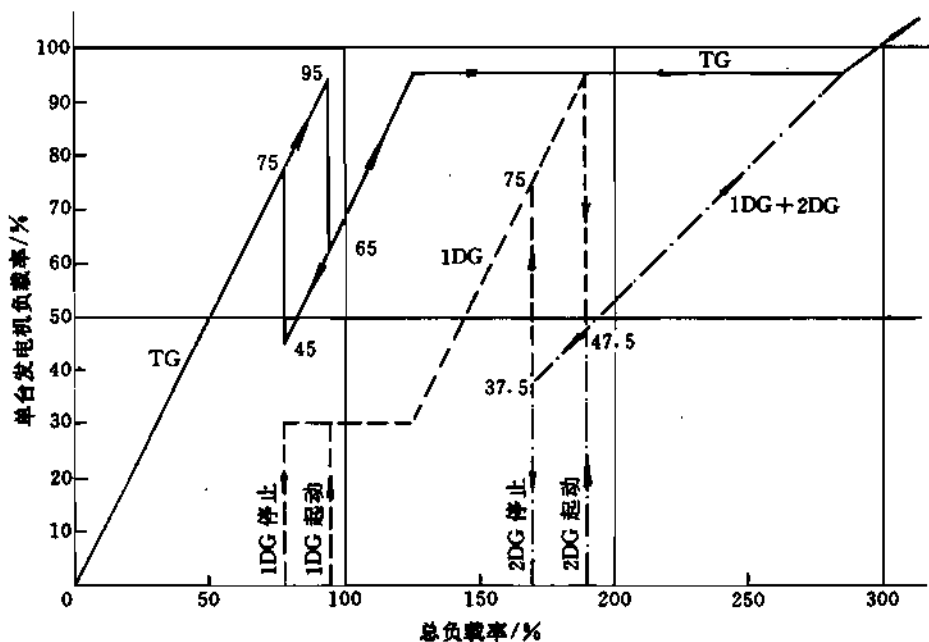


图 2.3.1.17 最佳负载分配

TG—废气涡轮发电机;1DG—1号柴油发电机;2DG—2号柴油发电机。

2.3.1.4 船舶发电机的并联工作

1. 直流发电机并联

1) 直流发电机并联工作条件

直流发电机只需极性相同和电压相同便可以进行并联操作。由于在船舶主配电板设计时极性相同已得到保证,所以实际并联操作时只需满足电压相同即可。

2) 并激直流发电机的并联

由于并激直流发电机具有下垂的外特性,所以并联工作是稳定的。并联运行发电机之间的负载分配,由发电机组的外特性决定,具有较陡的下垂特性的发电机组将承担较少的负载。所以,对同容量的发电机组要求其外特性曲线相同,才能保证按比例分配负载。对不同容量的发电机组并联运行时,要特别注意外特性曲线的配合,以避免小容量发电机过载。

3) 复激直流发电机的并联

由于复激直流发电机利用串激的励磁来补偿负载电流所引起的电枢反应和电枢电阻的压降,因而具有较平或上升的外特性,故复激直流发电机组并联工作是不稳定的。为使并联工作稳定,通常在串激绕组和电枢之间加一均压线,使发电机组稳定地并联运行。

为了提高发电机并联运行的稳定性,均压线的电阻应选择得尽可能的小。一般均压线的截面采用发电机主回路导体截面的一半。

2. 交流发电机并联

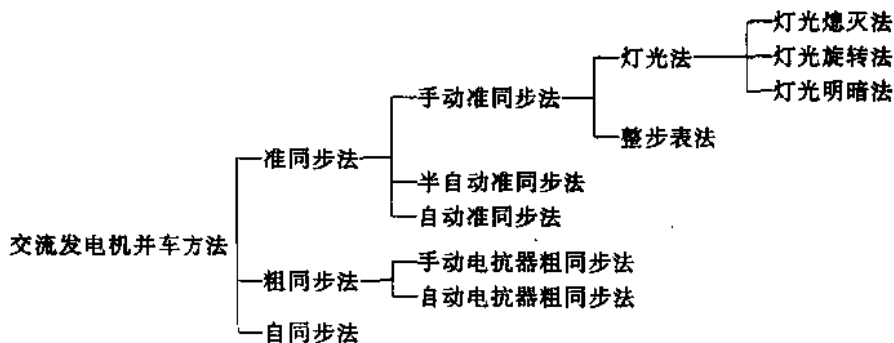
1) 交流发电机并联工作条件

交流发电机需相序相同、电压相同、频率相同和相位相同才可以进行并联操作。由于在船舶主配电板设计时相序相同已得到保证,所以实际并联操作时,可不再考虑相序相同的条件。

2) 交流发电机的并车方法

目前船上采用的交流发电机并车操作方法,有准同步法、粗同步法和自同步法 3 种。

根据同步过程的准备工作和自动化程度,准同步法又分为手动准同步法、半自动准同步法和自动准同步法。



3) 交流发电机并车方法的选择

在船舶主配电板设计时,交流发电机并车方法的选择应考虑操作的频繁程度和自动化水平的高低等条件。

a. 较小的电站,并操作不频繁,可采用手动准同步法。一般将灯光法和整步表法并用。又由于灯光熄灭法是在满足并车条件时 3 个指示灯同时熄灭,所以易掌握住合闸时刻,故采用较多,其同步指示灯的接法如图 2.3.1.18 所示。

用于两台发电机并车的整步表法接线原理图如图 2.3.1.19 所示。

用于 3 台发电机并车的整步表法接线原理图如图 2.3.1.20 所示。

b. 中型电站并操作不频繁,可采用半自动准同步法或电抗器粗同步法。由于自动电抗器

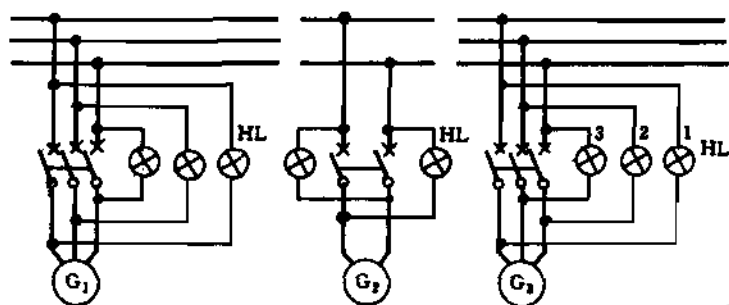


图 2.3.1.18 同步指示灯接法

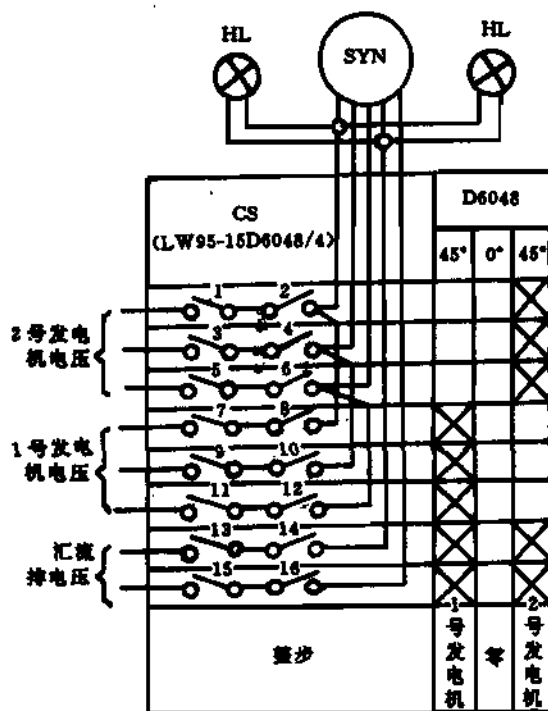


图 2.3.1.19 两台发电机并车用整步表接线原理图

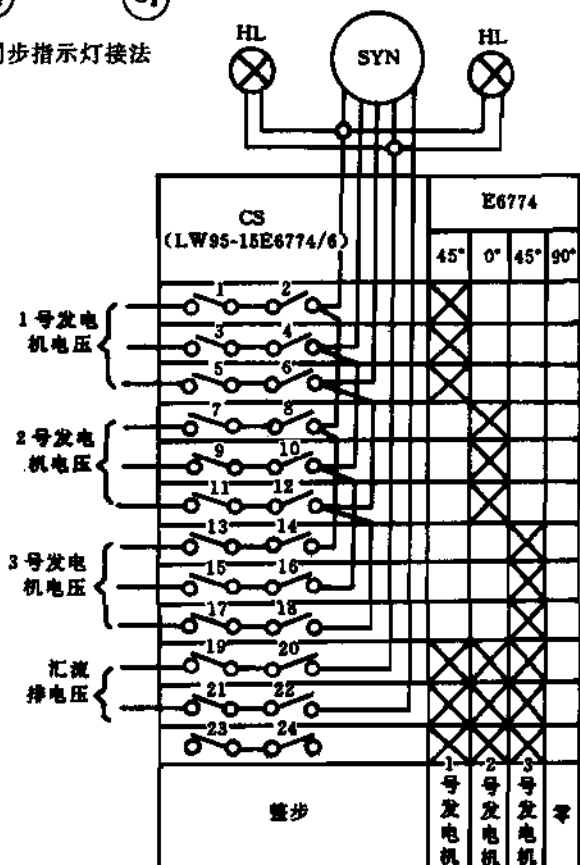


图 2.3.1.20 三台发电机并车用整步表接线原理图

准同步法操作简便,所以比手动电抗器粗同步法用得更多。

自动电抗器粗同步并车原理图如图 2.3.1.21 所示。

该原理线路中延时继电器 KR_1 通常延时整定 $1s \sim 3s$; 延时继电器 KR_2 通常延时整定 $3s \sim 5s$ 。

熔断器 F_3 也可以不设置。若设置时,最好在熔断器 F_3 的下端(近电抗器侧)的三相间跨接指示灯及检测按钮。

c. 大型电站和自动化水平高的电站,一般采用自动准同步法,同时备有手动准同步法并车。采用自动准同步法并车,必须设有自动准同步装置。该装置必须具有发电机组频率调整和电压调整功能,并保证在频差 $0.2Hz \sim 0.5Hz$ 、电压差 10% 范围内以及提前 $0.1s \sim 0.7s$ 使待并发电机自动合闸。

d. 由于自同步法并车是将待并发电机调至接近同步转速,在不给励磁的情况下即行合闸投入电网,然后立即加励磁,将待并发电机拉入同步。这种方法虽然操作简单、合闸迅速,但合

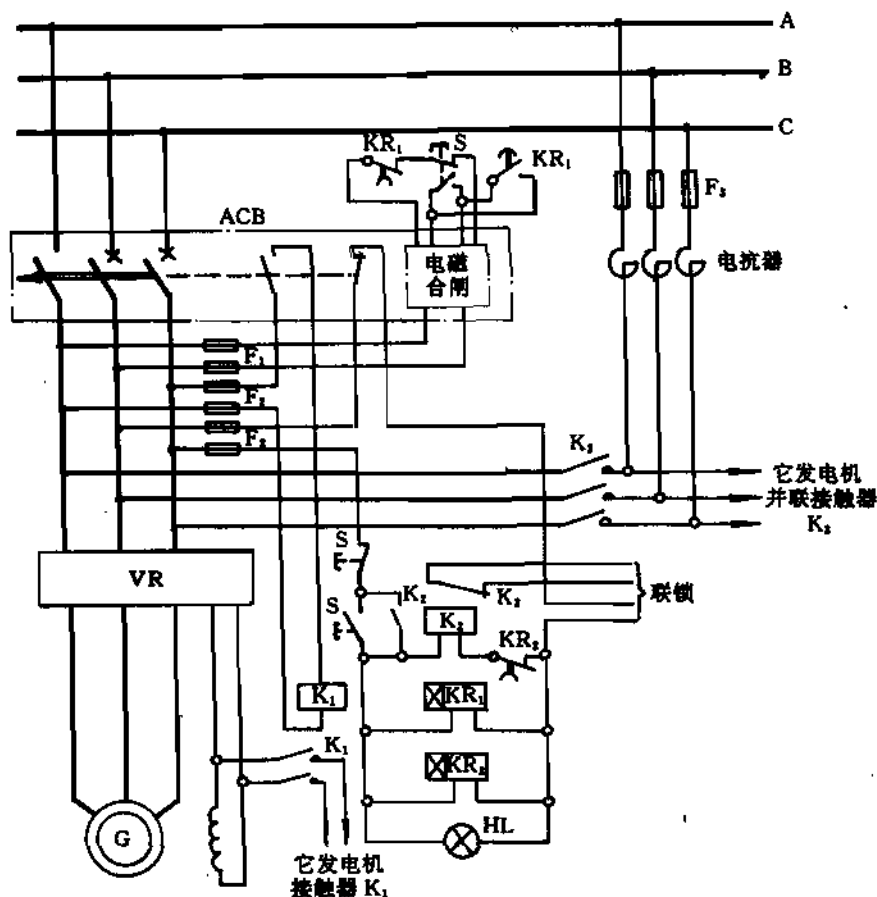


图 2.3.1.21 自动电抗器粗同步并车原理图

K_1, K_2 —交流接触器; KR_1, KR_2 —延时继电器; S —控制按钮; F_1, F_2, F_3 —熔断器; VR —调压器。

闸瞬间冲击电流很大,可能破坏电网稳定运行,因而目前尚未普遍采用。

2.3.2 船用变压器

2.3.2.1 船用变压器的分类及其主要特点

船用变压器按用途可分为:

1. 电力和照明变压器——用于电力系统的输电、变电和配电,如动力变压器、照明变压器、安全灯变压器和隔离变压器等。通常可制成单相或三相,要求具有较高的效率和合适的短路电压。
2. 特种变压器——用于特殊用途的变压器,如整流变压器和电焊变压器等。应具有满足特定用途的性能。
3. 控制变压器——用于控制系统的变压器,如提供多种电压的电源变压器、用于阻抗匹配的输入输出变压器和具有足够电感量的脉冲变压器等。
4. 仪用互感器——用于电压、电流的测量,如电压互感器和电流互感器等。主要特点是磁路不饱和、励磁电流小。

按冷却方式分类,船用变压器可分为空气冷却干式变压器和液冷式(通常为油浸式)变压器。中国船级社规定,电力和照明变压器采用液冷式时,必须经特殊批准。