

船舶工人培训丛书

船舶电站及电力拖动

林华峰 李 华 赵克威 编



哈尔滨工程大学出版社

船舶电站及电力拖动

林华峰 李 华 赵克威 编

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶电站及电力拖动/林华峰,李华,赵克威编.
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005
ISBN 7-81073-759-7

I. 船… II. ①林…②李…③赵… III. 船舶-电力
传动 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 134837 号

内 容 简 介

本教材包括船舶电站和船舶电力拖动两个部分。

船舶电站主要介绍了船舶电站的组成、船舶发电机、主电站和应急电站。着重介绍船舶发电机的励磁系统及调试方法、发电机的并联运行、发电机的保护设置和调试方法、主电站的结构、主配电板的主要配电和控制电器、主配电板各功能屏的典型电路、主电站的码头试验方法、应急电站的结构、应急发电机的自动控制。

船舶电力拖动主要介绍燃油辅助锅炉、起货机和舵机。着重讲了燃油辅助锅炉的水位自动控制和燃烧自动控制电路、交流三速起货机的控制电路、电动液压舵机的工作原理和电动液压舵、自动舵电路原理。

本教材为培训高级船舶电工编写,也可供从事船舶电气工作的人员和船员参考。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 18 字数 440 千字

2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

印数:1—2 000 册

定价:21.00 元

编者的话

本教材是参照“船舶电工职业鉴定”中有关高级工的要求,在原高级工培训教材的基础上重新编写的。

考虑到目前船舶电气设备都采用交流电,本教材不介绍直流电气设备。

本教材着重介绍设备的各个主要功能电路,不“复制”具体型号设备的整体电路,以便实际工作中能按功能组合看图。考虑到能直观地理解电路功能,主要介绍基本的继电器、接触器的控制电路。电子器件主要介绍工作框图。

本教材有关系统调试内容由李华编写,应急电站由赵克威编写,主配电板内容由邵勤奋参与编写,液压舵机内容由王进参与编写。全书由林华峰主编。

本教材在编写过程中承蒙陈国民、王旭、梁月莲、李建国、钱德福、陈波、许豪芬和郭伟祥等高级工程师、工程师提供帮助,在此表示感谢。

由于编者知识、经验和资料来源的局限性,对某些问题的提法和分析纯属个人理解,错误在所难免,恳请批评指正。

编者

目 录

第 1 章 船舶电站	1
1.1 船舶电站的组成	1
1.1.1 电源装置	1
1.1.2 配电装置	2
1.1.3 船舶电站	2
1.2 船舶发电机	4
1.2.1 同步发电机运行原理	4
1.2.2 励磁系统和电压自动调节	5
1.2.3 自动电压调节器	11
1.2.4 不可控相复励发电机	20
1.2.5 可控相复励无刷发电机	30
1.2.6 交流发电机的并联运行	40
1.2.7 发电机保护	60
1.3 主电站	85
1.3.1 主接线	85
1.3.2 同步点	89
1.3.3 主配电板	91
1.3.4 配电和控制电器	95
1.3.5 发电机并联运行自动控制装置	120
1.3.6 发电机屏控制电路	125
1.3.7 同步屏	137
1.3.8 电力负载屏	154
1.3.9 照明负载屏	165
1.3.10 主电站的码头试验	173
1.4 应急电站自动控制	210
1.4.1 应急电站	210
1.4.2 应急柴油发电机组的自动控制	217
第 2 章 船舶电力拖动	223
2.1 燃油辅助锅炉	223
2.1.1 燃油辅助锅炉工作原理	223
2.1.2 锅炉水位自动控制	223
2.1.3 锅炉燃烧自动控制	228
2.2 起货机	236
2.2.1 设备简介	236
2.2.2 交流三速电动起货机	238

2.3 舵机	248
2.3.1 舵机工作原理和基本要求	248
2.3.2 电动液压舵机	253
2.3.3 操舵控制	265

第 1 章 船舶电站

1.1 船舶电站的组成

船舶电站由电源装置和配电装置组成。

船舶电站是向全船用电设备提供电能的发电和配电的组合装置。

船舶电站可以直接或通过中间装置向各种电压等级、不同电流种类和频率的用电设备提供满足使用要求的电能。

船舶电站还具有按用电设备的重要性等级供电的能力。

目前,除特种船舶外,绝大多数采用交流电制,电力设备的电压和频率为 380 V、50 Hz 或 440 V、60 Hz,照明器具(和其他电器)采用与电网同频率的 220 V 或 110 V 电压。临时应急照明采用直流 24 V、110 V 或 220 V,用蓄电池支持临时供电。通讯、导航设备所需的特殊电源一般由该系统设备解决。特种船舶(舰船)的特种设备需提供 115 V、400 Hz 电源。采用电力推进和侧推装置的船舶,需提供 50 Hz 或 60 Hz、660 V 或 690 V 低压电源,或 3.3 kV 以上的高压电源。

按中国船级社(以下称 CCS)海船入级与建造规范的定义,交流 1 000 V 以下为低压系统。电力推进和电站装机容量很大的交流电制船舶(例如大于 5 000 kW),采用高压系统(国外某些船级社按陆地上定义称为中压),电压为 3.3 kV、6.6 kV 或更高,但不超过 11 kV。

1.1.1 电源装置

船舶电源装置主要是用原动机驱动的发电机。原动机是把燃料的热能转换为机械能的机械设备,发电机是把原动机的机械能转换为电能的电气机械设备。

原动机和发电机组合成发电机组。柴油机驱动的称为柴油发电机组;汽轮机驱动的称为汽轮发电机组;用主机轴带动的称为轴带发电机组。

发电机组只要不断输送燃料就可以连续供电运行。

另外,还使用蓄电池。蓄电池是把化学能转换为电能(这个过程称为放电),并可以反过来把电能再转换为化学能(这个过程称为充电)的电源装置。化学能消耗后不能再供电,需要“还原”化学能。化学能的使用是有限的,只能作临时电源。

船舶正常状态下使用的电源称为主电源。它向主配电板供电,并通过主配电板向全船所有设备配电。

主电源都采用发电机组。一般商船和舰船电力系统的电压与电力设备一致,采用低压(380 V、50 Hz 或 440 V、60 Hz),发电机组也采用同样等级的电压,直接供电。

大型船舶、特种船舶和电力战舰,电力设备容量大,采用低压不能满足要求,大容量电力设备采用高压,发电机组和电力系统采用同样等级的高压,而日常使用的电力设备仍采用低压,通过电力变压器降压供电。电力变压器作为中间的电源装置。

船舶主电源一般采用柴油发电机组,至少设置2台。海船典型的设置是3台。

主电源因故障中断供电的应急情况下,向应急设备供电的电源称为应急电源。应急电源可以是发电机组,也可以是蓄电池组。采用发电机组是向应急配电板供电,并通过应急配电板向应急情况下必需的设备配电。采用蓄电池是向充放配电板供电,并通过充放配电板向必需的设备供电。

应急发电机是采用柴油发电机组,储存的燃料油是有限的,使用中不补充,供电时间是有限的。大多数海船都设1台应急发电机组。

主、应急电源都中断供电时,用蓄电池供电。蓄电池供电的时间通常只有半小时,所以称这个应急电源为“临时”的应急电源。

1.1.2 配电装置

属于电源的配电装置有主配电板、应急配电板和蓄电池充放配电板。

主配电板与主发电机组都设置在机舱或辅机舱。主配电板一般设在机舱集控室,主发电机组设在机舱舱底。

应急配电板与应急发电机组一般同处一室。应急发电机室设在救生艇甲板上,即使在船舶事故进水的情况下仍保持供电。

蓄电池充放配电板一般与蓄电池是分开的。采用免维护蓄电池则不设蓄电池室,可以与充放配电板合为一体。

1.1.3 船舶电站

图1.1.3.1是典型的电力系统图。图中有3个提供电源的电站:主电站、应急电站和临时应急电源(站)。

1. 主电站

主电站由3台发电机组和主配电板组成。3台发电机组(D1、D2、D3是柴油机,G1、G2、G3是发电机)。发电机通过主配电板的母线(主汇流排)向主电网上的用户供电。

大多数船舶只有1个主电站。有的船舶或舰船有2个(或以上的)主电站。

主电站设在机舱或辅机舱。

主电站的几台发电机组较多的是采用同容量、同型号的,也有采用不同容量、不同形式的(例如柴油发电机组和轴带发电机)。

2. 应急电站

应急电站由1台发电机组和应急配电板组成(原动机ED是柴油机,EG是发电机)。

应急配电板的母线可以由主配电板或应急发电机供电;在主电源正常供电的情况下,应急配电板的母线由主配电板供电。在主电源失电的应急情况下,由应急发电机供电。

应急发电机组一般都设在甲板上。

3. 临时应急电源(站)

临时应急电源(站)由蓄电池和蓄电池充放配电板组成。

蓄电池除了向重要的报警、指示等负载供电外,在客船和应急发电机不能在规定的时间内自动启动供电的货船,还要支持临时应急照明工作(不少于)30 min。

早期船舶设置多组蓄电池,交替充电和放电(负载由蓄电池供电),充放电板主要用来控制充放电,整流装置只考虑充电,容量较小。现在船舶整流装置与蓄电池组成“不间断供电”

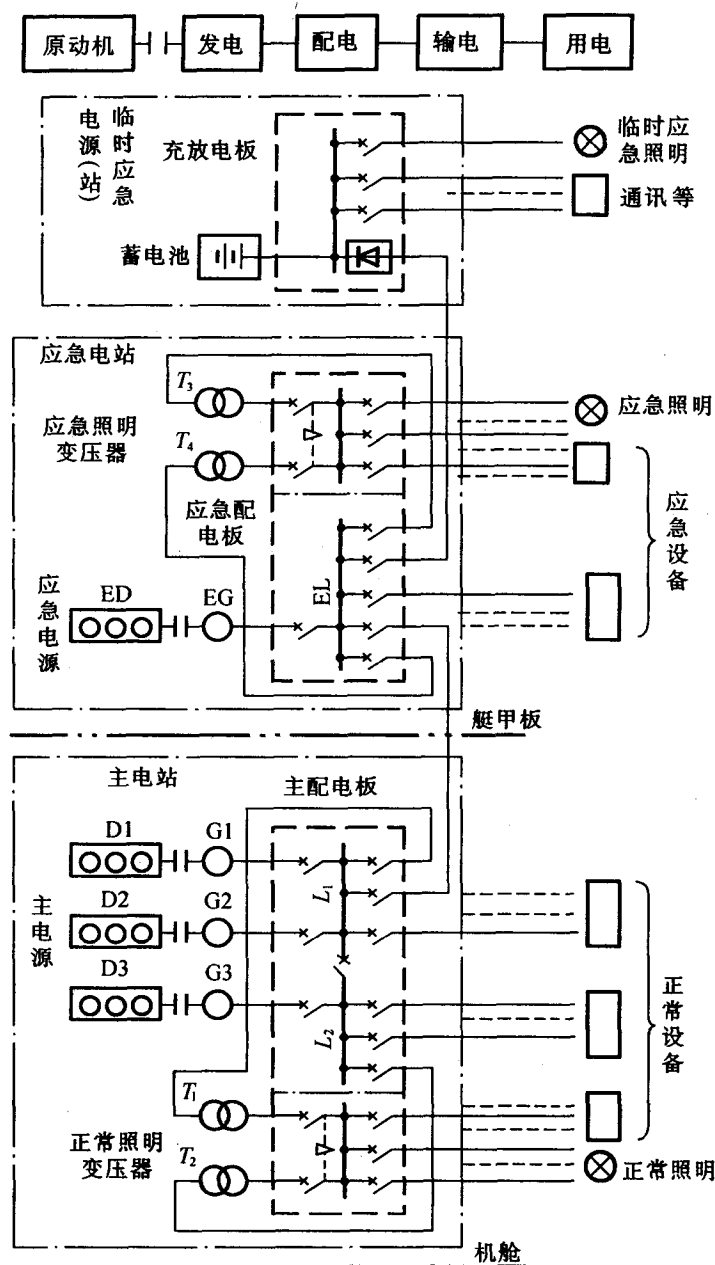


图 1.1.3.1 典型的船舶电力系统

的直流电源。正常状态下由整流装置向负载供电,蓄电池处于浮充状态。整流装置的容量较大。主、应急电源都失电时由蓄电池供电。

从图 1.1.3.1 可以看出,充放电板的母线可以由应急配电板或蓄电池供电。正常情况下应急配电板供电电源经变换(降压、整流)后向母线上的负载供电,同时(有控制地)向蓄电池进行浮充电。

1.2 船舶发电机

船舶电站的主发电机(以下称发电机)大多数采用旋转交流同步发电机。

1.2.1 同步发电机运行原理

旋转电机是用来进行能量转换的电磁机械,能量的转换通过定子和转子之间的气隙磁场进行。旋转发电机是把机械能转换为电能的装置。

1. 同步和电枢反应

发电机的转子是磁场,定子是电枢。原动机驱动转子旋转,就得到一个在空间旋转的磁场,并在定子三相绕组中感应出三相正弦交变电势。如果在发电机输出端接上三相对称负载,定子绕组就流过三相对称电流,这个电流也产生一个旋转磁场,即定子旋转磁场。这样在同步发电机的气隙中存在两个同步旋转的磁场:转子励磁磁场和定子电枢磁场。2个旋转磁场合成发电机的气隙磁场。机械能与电能的转换是通过气隙进行。

同步是指转子磁场与定子磁场的旋转速度严格一致。只有在同步的条件下才能进行能量转换。

发电机空载时,气隙中只存在励磁磁场,负载时,气隙空间同时出现了电枢磁场。

电枢磁场对气隙磁场的影响称为电枢反应。

发电机电枢电流与电压同相时产生的电枢反应称为交轴电枢反应。引起磁极轴线偏移,当磁路饱和时,同时呈现去磁效应。

发电机电枢电流与电压不同相时产生的电枢反应称为直轴电枢反应。电流滞后电压,产生去磁电枢反应;电流超前电压,产生助磁电枢反应。

去磁效应引起机端电压下降;助磁效应引起机端电压上升。

2. 发电机的简化电压方程式

电源由一个电势(即开路电压)和一个内阻组成。负载电流流过内阻会产生电压降,使电源的端电压下降。端电压与内阻上电压降之和等于电势。

交流发电机也有一个电势 E 和一个内阻(阻抗)。电枢绕组的直流电阻相对感抗很小,可以忽略,这样发电机的内阻就是一个电抗,称为同步电抗 x_d 。内阻(同步电抗)上产生电压降由发电机电枢反应的结果而定。同样大小的电流 I ,功率因数不同,电枢反应作用的结果也不同,发电机端电压 U 的变化也不同。为了说明电势、电压、电流和同步电抗的关系,现撇开其他影响电压的因素,用简化的电压方程式来表示。

同步发电机的简化电压方程式为:

$$E = U + j \cdot I \cdot x_d$$

式中 E ——发电机电势;

U ——发电机电压;

I ——发电机定子电流;

x_d ——发电机同步电抗。

方程式中除发电机同步电抗外其他都是向量。 $j \cdot I \cdot x_d$ 是(内阻)电抗 x_d 上的电压(降)。 $j \cdot I$ 表示流过电抗 x_d 的电流 I 滞后电抗 x_d 上的电压($I \cdot x_d$) 90° 。

根据简化电压方程式可作出如图 1.2.1.1 所示的简化向量图。图中假设电势 E 不变, 即发电机的励磁电流不变, 负载电流在不同功率因数角 φ 时, 电压的变化情况。

图(a)表示负载电流为 0 时, 电压等于电势; 图(b)表示电流 I 与电压 U 同相, 即 $\varphi = 0$ 时, Ix_d 引起的电压 U 下降; 图(c)表示电流 I 滞后电压 U 一个 φ 角时, 电流无功部分产生去磁的电枢反应使电压 U 下降较大; 图(d)表示电流 I 超前电压 U 一个 φ 角时, 电流无功部分产生助磁的电枢反应使电压 U 上升较大; 图(e)表示 φ 角滞后 90° 时, 去磁的电枢反应使电压 U 大幅度下降; 图(f)表示 φ 角超前 90° 时, 助磁的电枢反应使电压 U 大幅度上升。

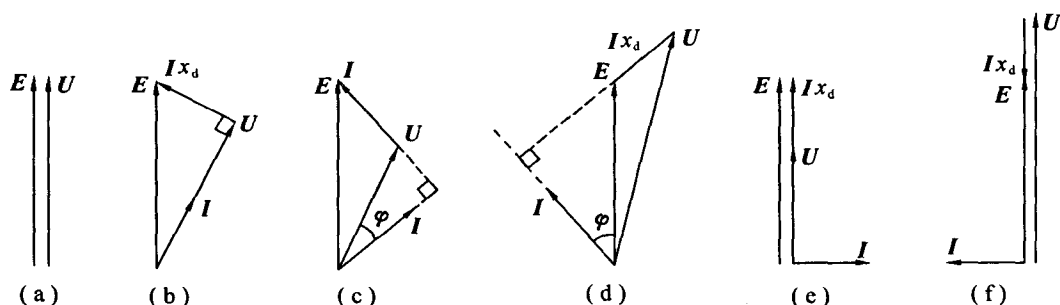


图 1.2.1.1 同步发电机的简化向量图(电势不变)
(a) $I=0$; (b) $\varphi=0$; (c) φ 滞后; (d) φ 超前; (e) $\varphi=-90^\circ$; (f) $\varphi=+90^\circ$

从向量图看出, 当同步发电机的负载电流或功率因数角 φ 发生变化时, 机端电压 U 将随着变化。若要保持 U 不变, 必须改变励磁电流, 使电势 E 作相应的变化。

图 1.2.1.2 表示若要保持电压 U 不变, 负载电流在不同功率因数角 φ 时, 电势 E 所作的相应变化。例如电流的功率因数角 φ 滞后, 去磁的电枢反应使电压 U 下降, 需增加励磁电流, 增加电势 E 才能维持电压 U 不变; 功率因数角 φ 超前, 助磁的电枢反应使电压 U 上升, 需减小励磁电流, 减小电势 E 才能维持电压 U 不变。

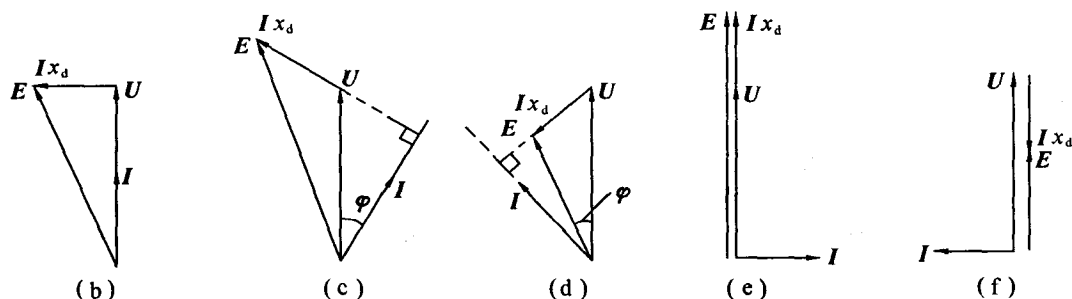


图 1.2.1.2 同步发电机的简化向量图(电压不变)
(b) $\varphi=0$; (c) φ 滞后; (d) φ 超前; (e) $\varphi=-90^\circ$; (f) $\varphi=+90^\circ$

1.2.2 励磁系统和电压自动调节

1. 励磁调节的必要性

电力系统运行的电能质量指标是电压和频率的稳定度。电压的稳定度由发电机和它的

励磁系统保证;频率的稳定度由原动机的调速器保证。

从发电机的简化向量图看出,发电机端电压是随负载大小和性质的变化而变化的。要维持电压不变,需要调节励磁电流,使电势作相应的变化。

船舶电力系统中主要负载是异步电动机。异步电动机的启动电流大、功率因数低。大功率电动机启动时,发电机需要补充足够的励磁电流,才能避免电网电压的急剧波动。

电力系统中某处发生短路时,需要向发电机提供超过额定值许多的强行励磁电流,才能使保护电器准确地切除故障点,维持电网电压的稳定,保证系统的正常运行。

并联运行的发电机应按有功功率的承担比例分配无功功率。要改变无功功率的承担只能调节励磁电流。

因此,要保证电力系统电压的稳定度,必须按发电机的运行工况及时调节励磁。对励磁调节的要求,人工是无法满足的,必须由自动调节励磁的装置来执行。

2. 对励磁系统的要求

向同步发电机励磁绕组供电的励磁装置和励磁调节装置构成的总体称为励磁系统。它的任务是:

- (1)在电力系统正常运行情况下,维持电压在一定的水平上;
- (2)当电力系统发生突然短路时,提供强行励磁,以提高电力系统运行的稳定性和可靠性。

电力系统理想的运行状态是电压和频率保持不变,而实际的运行状态是电压和频率是变化的,但要求变化保持在一定的范围内。

1) 静态指标

由调速特性符合规范要求的原动机驱动的交流发电机连其励磁系统,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的情况下,保持其稳态电压的变化值在额定电压的 $\pm 2.5\%$ 以内。应急发电机可以允许为 $\pm 3.5\%$ 以内。

静态电压变化率 $\delta_u\%$ 的计算公式为:

$$\delta_u\% = \frac{U - U_e}{U_e} \times 100\%$$

式中 U ——负载变化时电压变化达到的最高或最低值;

U_e ——额定电压。

2) 动态指标

交流发电机在空载,转速为额定转速,电压接近额定值的状态下,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%,而当电压恢复到与最后稳定值相差 3% 以内所需的时间不应超过 1.5 s。

对发电机的上述要求的前提,是原动机的调速性能也满足一定要求。一般要求静态调速率不大于额定转速的 5%;动态调速率不大于额定转速的 10%,稳定时间不大于 4 s。

静态和动态指标是发电机组码头试验、提交验收的主要考核指标。

3. 励磁系统的类型

同步发电机是由直流电流励磁建立磁场,需要提供直流励磁电源。直流电源的能量可以取自原动机的机械能,也可以取自本身发电机输出的交流电源。这两种能源都需要变换成直流电能才能使用。变换能源的装置称为换能器。

按换能器类型分类有:旋转电机励磁系统和静止励磁系统。

(1) 旋转电机励磁系统

励磁电源由与发电机同轴旋转的励磁(发电)机提供,励磁机把机械能转换成直流电能。这是由发电机本身以外的电源供电的励磁系统,称为他励系统。通过调节励磁机的励磁来调节同步发电机的励磁,从而改变电压。

励磁机有两种:直流励磁机和交流励磁机。

图 1.2.2.1(a)是直流励磁机励磁系统。发电机励磁绕组通过滑环和碳刷引出。直流励磁机的电枢由原动机轴驱动旋转。电枢输出的直流电流通过碳刷、滑环馈送给发电机励磁绕组。

图 1.2.2.1(c)是交流励磁机励磁系统。交流励磁机采用转枢式结构,励磁绕组在定子上,电枢在转子上。发电机和励磁机分成 2 个壳体,电枢输出三相交流电的导线,通过空心转轴穿入发电机;在同一壳体外的则导线沿轴进入发电机,导线接入安装在转轴上的旋转整流器,变换成直流直接送入发电机转子上的励磁绕组。交流励磁机没有炭刷,又取消了励磁机与发电机励磁绕组之间的炭刷和滑环的滑动接触,故称这种发电机为无刷励磁发电机。

(2) 静止励磁系统

发电机的励磁电源由发电机本身提供的励磁系统称为自励系统。这种系统主要由变压器和整流器组成,无转动结构,称为静止励磁系统,如图 1.2.2.1(b)所示。

早期的发电机采用直流励磁机励磁系统,以后曾一度采用静止励磁系统即自励恒压发电机。现在都采用无刷励磁发电机。

(3) 无刷发电机的结构

大功率无刷发电机和励磁机分为 2 个壳体,小功率无刷发电机一般都在同一个壳体内。船舶发电机多是小功率发电机。

典型的无刷发电机结构如图 1.2.2.2 所示。发电机的转子(磁场)和励磁机的转子(电枢)安装在同一轴上。

图 1.2.2.3 是无刷发电机的主要部件分解图。

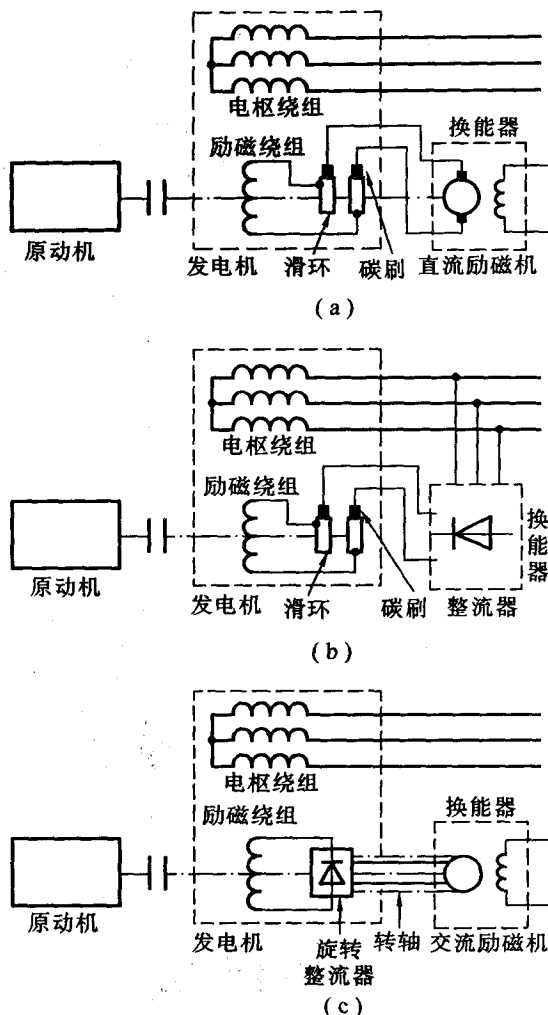


图 1.2.2.1 励磁系统的类型

(a) 直流励磁机励磁系统; (b) 机端电压整流励磁系统; (c) 交流励磁机(无刷)励磁系统

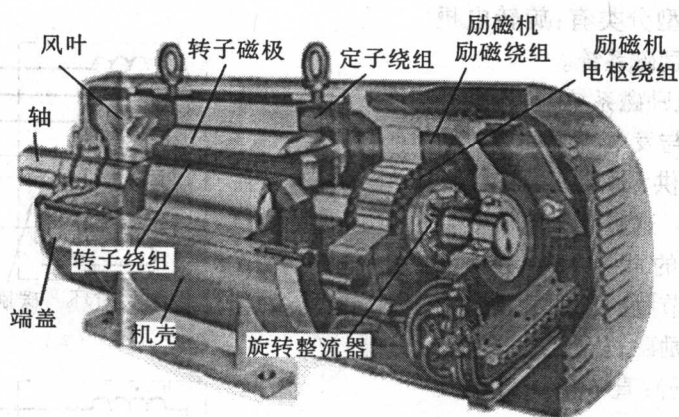


图 1.2.2.2 无刷发电机的结构图

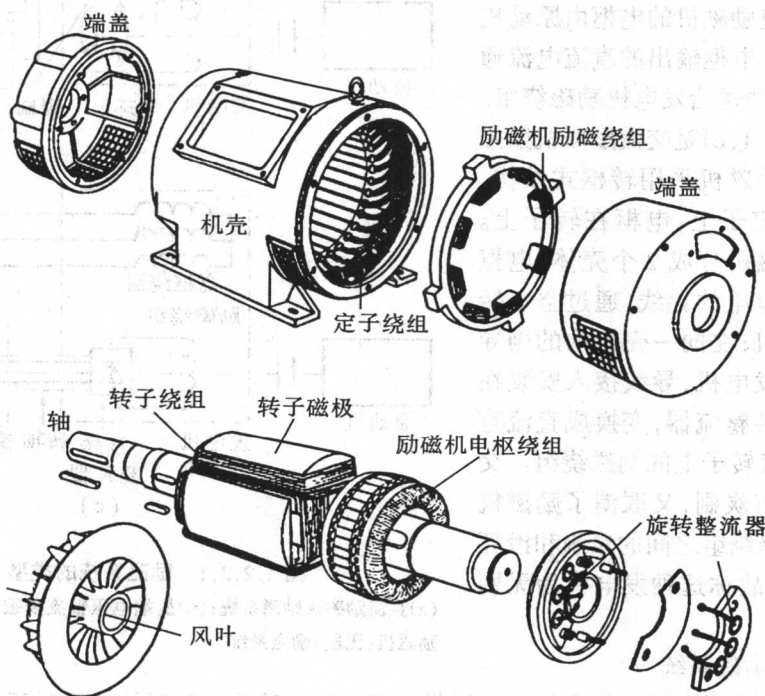


图 1.2.2.3 无刷发电机主要部件分解图

4. 励磁自动调节系统

励磁系统除了提供励磁能源外,还要能自动控制换能器的输出。

无论是旋转电机励磁或静止励磁系统,都是控制发电机的励磁电流。要维持机端电压在一定的水平上,需要自动调节励磁电流。

引起发电机端电压 U_c 偏离的扰动因素主要是负载电流和负载的功率因数变化,以及原动机转速和温度的变化等。

当扰动的作用使被调量即机端电压偏离原来的稳定值时,在调节系统的作用下又将使

机端电压逐渐回到原来的稳定值。因此机端电压总是先偏离原来的稳定值,经过一段变化过程,然后趋近于原来的稳定值。

整个调节过程可以分为2个阶段:先是处于变化状态的过渡过程,它代表了系统的动特性;然后是回到稳定状态的稳态过程,它代表了系统的静特性。

码头试验要做发电机组的电压调节性能。动特性是调节过程的稳定性,即电压波动的大小和过渡到稳定状态所需的时间;静特性是恢复到原来值的精确程度,即与原来值的误差,称为静态误差或静差。

按自动调节原理,励磁自动调节系统可分为三类:按机端电压偏差调节;按负载电流及相位调节;综合调节既按负载电流及相位补偿又按机端电压偏差调节。

图1.2.2.4是自动调节(控制)系统一般采用的方块图。系统中每一个环节或单元用一个方块表示,每个方块有一个输入和输出,输入量经方块处理后变换成输出量,如图1.2.2.4(a)所示。自动调节系统是在机端电压出现偏差时调节,需要检测电压偏差。图1.2.2.4.(b)是表示“误差检测”的方块图。它是给定的参考量与被调量的反馈量相比较,得出差值作为输出量。反馈量箭头旁的“-”号表示两个信号相减。

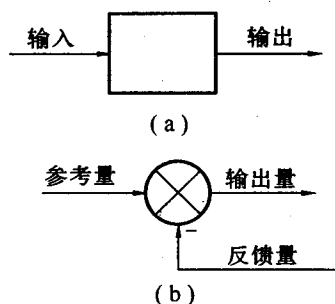


图1.2.2.4 方块图
(a)方块图单元;(b)误差检测

(1)按机端电压偏差调节

励磁自动调节系统调节的目的是维持机端电压在一定的水平上。调节系统的被测量是发电机的端电压 U_G ,被调量也是机端电压 U_G ,这样的自动调节系统称为“闭环系统”,用图1.2.2.5的方块图表示。发电机端电压 U_G 在扰动的作用下偏离给定的范围。给定单元的给定值 u_1 与测量单元测得的(U_G 变换后的) u_2 相比较,得出偏差量 Δu , Δu 经放大成 ku ,输入调节单元处理,输出适宜调节发电机电压的控制信号 U_F ,使机端电压 U_G 恢复到给定的范围内。

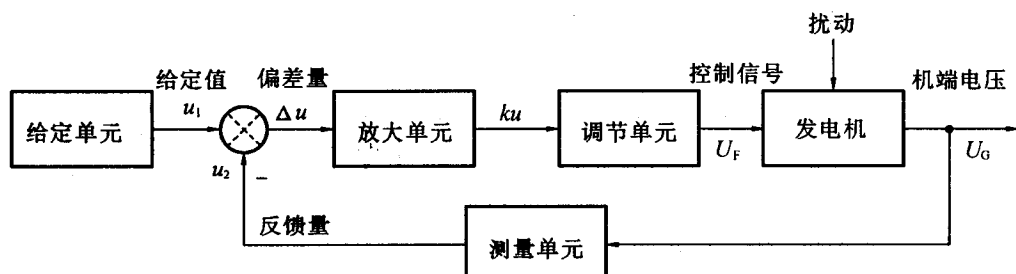


图1.2.2.5 按机端电压偏差调节原理方块图

按偏差调节的系统,调节作用只与机端电压的偏差有关,而与产生扰动的原因无关,对于静特性即调节精度较好;动态过程是一个周期性的振荡过程,动特性不够好。

(2)按负载电流及相位进行调节

这种调节原理的出发点是,引起电压变化的主要扰动原因是负载电流及相位变化,只要

预先找出机端电压随负载电流及相位变化的规律,并按此规律调节补偿发电机所需的励磁电流,就可以维持机端电压恒定在一定水平上。图 1.2.2.6 是这种调节原理的方块图。测量出负载电流 I 和相对机端电压 U_G 的相位,得到 I_F ,经信号变换输出控制信号 U_F ,调节发电机励磁电流,使机

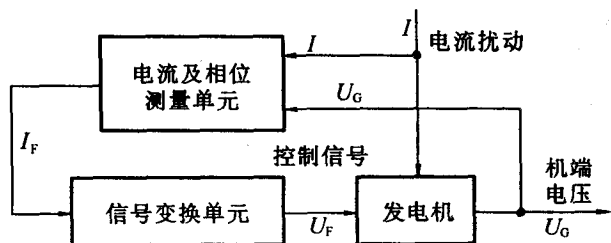


图 1.2.2.6 按负载电流及相位调节原理方块图

端电压恒定。发电机的励磁是由发电机的电压和负载电流 2 个分量复合激励的,称为“复励”系统;按照电压和负载电流 2 个分量的相位来激励的,称为“相复励”系统。

相复励调节系统的被调量是发电机电压 U_G ,而被测量是负载电流 I 和相对机端电压 U_G 的相位。每一个负载电流和相位都有一个既定的输出控制信号 U_F 与之对应,这个既定的信号是由调节系统装置的设计和初次试验调整所确定。在既定的转速和温度等条件下,机端电压是既定的。但是由于转速或温度变化等其他扰动引起的电压偏离,调节系统就无法响应,因此静态特性较差。只有按负载电流及相位进行补偿调节的励磁系统,补偿调节的输出是既定的。这种不加以控制的励磁系统,一般称为“不可控相复励”系统。

这种调节系统称为“开环调节”系统,不属于自动调节系统。它的动态过程是非周期性的,没有振荡过程,动态稳定性好。

(3)综合调节

按机端电压偏差调节的励磁自动调节系统,静态性能好,动态性能差;按负载电流及相位进行补偿调节的励磁系统,动态性能好,静态性能差。综合这 2 种调节方式,既按负载电流及相位进行补偿,又按机端电压偏差校正,可以取长补短获得较好的调节性能。

图 1.2.2.7 是综合调节的原理方块图。原来相复励系统的信号变换输出是不可控的,现在由电压自动调节部分控制,使相复励的输出“可控”,用这种原理构成的励磁调节装置称为“可控相复励”系统。励磁调节系统的动态性能由相复励部分解决;静态性能的不足则由电压自动调节部分校正补救。

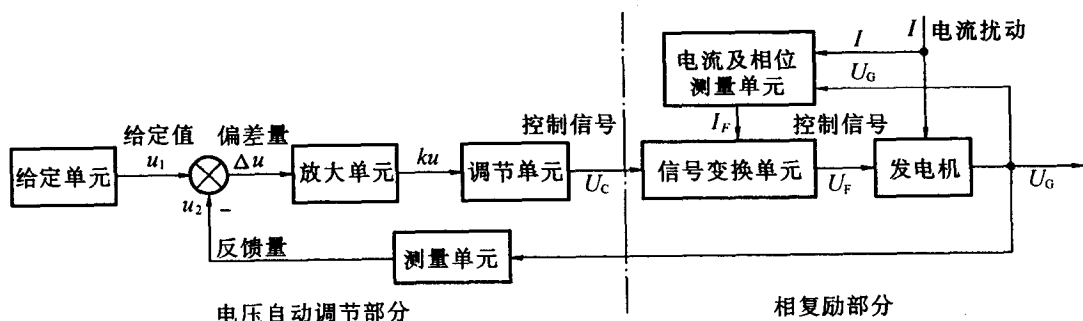


图 1.2.2.7 综合调节原理方块图

需要指出的是,用电流和电压进行“复励”的励磁调节系统,如果是“不可控”的,就必需

是“相复励”，即必需是按负载电流及相位进行补偿调节的励磁系统，才能满足机端电压在一定水平上的要求。而“复励”只按负载电流进行补偿调节，与电流的相位无关，不能满足要求。如果是“可控”的，则“相复励”或“复励”都可以。国外厂商有生产“可控复励”的励磁装置。

1.2.3 自动电压调节器

自动电压调节器简称 AVR(英语名称的第一个字母缩写)，是按机端电压偏差进行励磁调节的装置。当机端电压出现偏差时，调节发电机的励磁电流或励磁机的励磁电流，消除偏差或把偏差减小到允许范围内。

AVR 是一个单独装置，有的自动装置厂商专门生产各种类型的 AVR，发电机制造厂根据需要配套选用，也有发电机制造厂自己配套生产的。AVR 有安装在发电机内部的，与发电机的接口在制造厂解决，也有安装在配电板内的，与发电机的接口由配电板制造厂和船厂(我们电工)解决。我们首先要弄清楚 AVR 设置与发电机的关系。

AVR 与发电机的关系如图 1.2.3.1 所示。AVR 本身是一个可控的电源装置。电源输入变换成可控的直流电源，机端电压偏差 ΔU 经放大，输出控制电压 U_c ，控制直流电源输出，进行励磁调节。励磁调节输出通过励磁机控制发电机励磁绕组的电流。也有直接控制励磁绕组的。目前船舶绝大多数采用无刷发电机，它需要带交流励磁机。

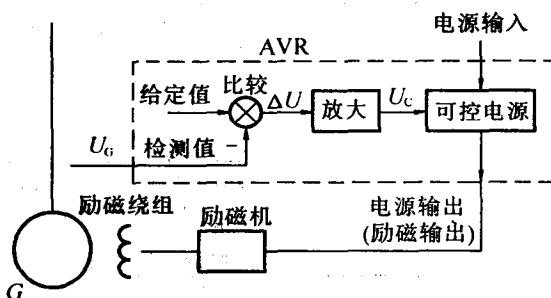


图 1.2.3.1 AVR 与发电机的关系示意图

AVR 的励磁调节输出是控制励磁机的励磁绕组。

1. AVR 的电源

AVR 要输出电源，必须有电源输入。输入电源的来处一般有：发电机输出端(或抽头)、附加定子绕组或永磁发电机等。图 1.2.3.2 表示几种典型的供电方式。图(a)是用机端电压整流励磁，换能器是可控整流器，励磁功率由发电机承担，AVR 的电源也取自机端电压；图(b)是 AVR 用设在定子上的辅助绕组供电，换能器是交流励磁机，励磁功率由原动机提供；图(c)是 AVR 由机端电压经变压器供电；图(d)是 AVR 由永磁发电机供电。

图(a)和图(c)用机端电压直接提供励磁和用机端电压通过 AVR 控制，向励磁机的励磁绕组提供励磁。这种供电方式存在的问题是，当发电机端发生短路时，机端电压骤降，甚至消失，励磁电流也消失，不能提供强行励磁，需要采取附加的强行励磁措施。图(b)和图(d)的 AVR 输出的励磁功率由原动机提供，发生短路不影响辅助绕组或永磁发电机的输出，可以提供强行励磁。

这里讨论的 AVR 是指只按机端电压偏差进行励磁调节的。因此说 AVR 是一个可控电源，需要输出一定的功率。

图(a)是用机端电压直接提供励磁，AVR 的输出是控制换能器即可控整流器的，不承担对外输出功率，可以与电压检测端合用电源。以后讨论的带相复励的无刷发电机就是这样。

2. 电压检测