

船舶电站控制装置 及动态模拟系统

杨国豪 编著
刘宗德 主审



大连海事大学出版社

序

杨国豪同志编著的《船舶电气控制装置及动态模拟系统》是反映我国船电最新技术的一门专业课教材,是继《船舶电站及其自动装置》之后又一本比较系统介绍船舶电站自动化的书。尤其是该书的动态模拟系统部分是根据集美大学航海学院轮机自动化机舱在建设及使用中的技术资料,经作者认真整理、实践才得以完成的。

轮机自动化机舱是交通部重点实验教学设备建设项目,总投资400万人民币,于1997年通过验收。该自动化机舱的控制装置主要包括主机遥控装置、船舶电站及其自动控制装置、巡回检测报警装置、分油机、锅炉、舵机等自动控制装置……作者在参加船舶电站及其自动控制装置的安装调试阶段,搜集了大量的技术数据,付出了艰苦的努力。在该项目顺利通过验收后,又经轮管98、99两届本、专科生300余人次进行了综合训练,使学生经过短期演练,掌握了电站自动装置的基本操作技能。

作者根据《自动化机舱》技术指导书,结合多年教学工作实践,参照STCW-95及海事局主编的《海船船员适任考试和评估大纲》的评估要求编写了本书。相信,本书的出版对培养学生的实际动手能力和综合分析能力定会有较大的促进作用。

刘宗德

1999年8月

前 言

本书是根据船舶机电专业合并后的培养目标,为提高轮机员对船舶电站及控制装置的管理水平而编写的,是作为轮机专业课程“船舶电气设备及系统”的后续教材。

本书着重介绍了目前广泛应用于船舶电站系统中的各种自动控制装置及其发展趋势,较详细地介绍了一些典型控制装置的工作原理,同时还详细介绍了船舶电站混合模拟技术及其应用。通过对本书的学习,可使读者对船舶电站各部分自动控制装置有一个基本的、较全面的认识,为从事船舶电站的运行管理打下基础,同时对船舶电力系统的模拟技术有一个初步的认识。

在本书的编写过程中得到蔡春生、阮祁忠、华增芳等同志大力支持和帮助,刘宗德教授对本书进行了认真的审阅,并提出宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

此外,有关院校、船厂、无锡电机厂等单位的同志积极地为本书提供有价值的资料,在此也一起表示衷心的感谢。

由于本人水平有限、时间仓促,书中还可能有不少错误,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1999年5月

目 录

第一章 船舶电站综述.....	(1)
第一节 船舶电力系统.....	(1)
第二节 船舶电站运行自动化.....	(2)
第二章 船舶电站自动控制装置.....	(9)
第一节 船舶同步发电机组自动并车装置.....	(9)
第二节 船舶同步发电机的自动励磁装置	(14)
第三节 并行同步发电机组无功功率的分配与稳定	(29)
第四节 并行同步发电机组有功功率的自动调节	(32)
第三章 船舶电力系统的保护	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 船舶同步发电机的保护	(54)
第三节 船舶电网的保护	(58)
第四章 船舶电站动态模拟系统	(63)
第一节 概论	(63)
第二节 船舶原动机及调速器模拟	(65)
第三节 同步发电机及励磁环节的模拟	(70)
第四节 异步负载模拟	(82)
第五节 检测监视及控制环节的模拟	(88)
参考文献	(96)

第一章 船舶电站综述

第一节 船舶电力系统

一、船舶电力系统的基本组成

船舶电力系统是电源、配电装置、电力网及本船用电负载所组成的完整体系的总称。船舶电力系统的主电源一般采用柴油发电机组,小应急电源一般由蓄电池组构成。为了便于管理,系统的发电机组通常集中布置在一个或两个舱室中。这些集中布置的发电机组,包括它们的控制、配电装置及辅助设备、电力网(供电电缆、电线、配电器械),称之为船舶电站。

船舶电力系统中,由电力变压器,变频器、变流机组和整流器等所得的电能称为系统的二次电源。简单的船舶电力系统组成原理如图 1-1 所示。

二、船舶电力系统的特点和发展

1. 特点

船舶电力系统与陆用电力系统在容量、输电方式等方面均有较大的差别。

(1)船舶电力系统电源多为单一电站,容量较小,一般电站容量小于 2 000 kW,单机容量小于 1 000 kW;电力网输电距离短,输送容量小,输电电压低,短路电流所产生的电磁机械应力和热效应易使开关、汇流排等设备遭损伤和破坏,船舶输电线路均采用电缆沿舱壁或舱顶走线,电缆的分支和转接均在配电板或专设的分线盒内,不允许外部有连接。

(2)船舶上大的用电负载,其功率可与发电机容量相比拟,起动时引起电网压降大,因而对船舶电力系统的稳定性提出较高的要求;此外,误操作或局部故障都容易导致全船断电,威胁船舶安全,这就对船舶发电机组的自动调压、调速装置和自动保护装置提出更高的要求。

(3)与陆上电气设备相比较,船舶电力系统的电气设备工作环境恶劣。因此,要求系统的电气设备符合船舶特定的工作条件。

2. 发展

随着民用船舶吨位的不断增大,电气自动化程度的不断提高和科学技术的飞速发展,船舶电力系统也相应得到快速发展。

(1)为了适应船舶自动化及负载功率增长的需要,船舶电力系统的发电功率显逐年增大的趋势,特别是集装箱船,其电站功率的增幅相当大。

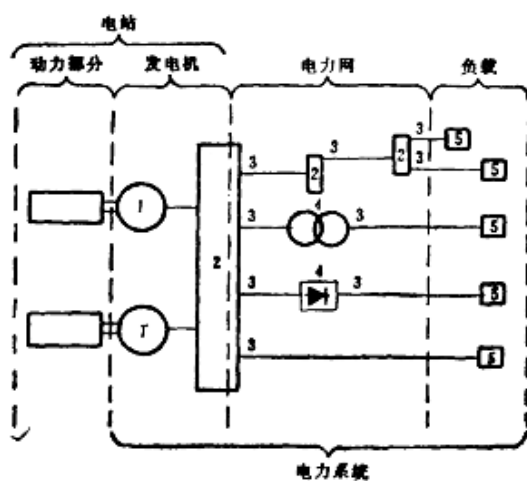


图 1-1 船舶电力系统示意图

(2)电力系统的设备性能和供电指标均有很大的提高。现代船舶电力系统的设计均以最大限度地维持不间断供电为目标,随着船电技术的发展,船舶电力设备已日趋完善,能够为船舶提供完整的发电机组系列,性能优良的各种容量的自动开关和监视保护装置,同时,发电机的快速调压调频设备提高了电力系统的静态和动态性能指标,也加强了系统承受各种突变负载的能力,近年来,民用船舶上又出现了大功率、中压、中频参数的电力系统,是船舶电力系统技术上的一种突破,为未来船舶电力系统的发展开辟了道路。

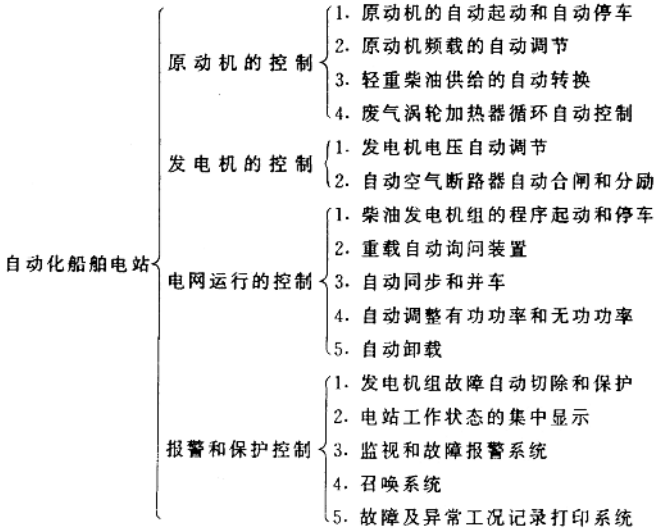
(3)在船舶电力系统中广泛采用各种新技术,科学技术的飞速发展也改变了船舶电力系统的整个面貌。近年来,电力系统控制线路的电子化程度有了很大的提高,高性能半导体集成电路普遍代替了电磁、机械、液压等控制部件,出现了电子固态保护装置、电子调速器、无刷自动励磁装置、可编程自动控制装置等性能更优越的新型部件。大功率半导体技术促使电能变换设备趋向静止型化,大大提高了系统运行性能,减小了电力设备的体积和重量;电子计算技术的推广,高性能抗干扰计算机的应用,又出现了微机控制和管理的船舶电站,它对发挥船舶电站的功能,应付船舶多工况的变化,有很大的促进作用,总之,新技术的应用,提高了系统的自动化,使系统达到最佳的运行方式,提高了设备的运行效率、经济性和安全性,缩短了设备的维修时间。

第二节 船舶电站运行自动化

船舶电站自动化是船舶自动化的一个重要组成部分,也是船舶现代化的一个重要标志,实现船舶电站自动化的目的是提高电能的质量,保证供电的安全可靠,改善运行管理人员的劳动强度和劳动条件以及提高船舶运行的经济性。

一、船舶电站自动化的基本内容

对现代船舶电站自动化的基本内容在各国的船舶建造规范中均有反映,通常船舶电站自动化应包括以下内容:



二、自动化船舶电站的控制方式

1. 模拟量控制

指电站运行中通过测量和改变发电机的模拟量来实现的控制。如发电机调压器、柴油机调速器和自动负载均分装置的控制等。

指电站中某些按一定程序实现的控制。如柴油发电机组程序起动和停车、重载自动询问装置的控制等。

指电站自动装置各功能之间的协调操作,如人工进行的各种工况变换操作等。

- 3 -

算机技术的飞速发展,目前这三类控制都能靠微型计算机来实现。

三、船舶电站自动化中运行工况的分析

实现船舶电站运行自动化,将涉及以下一些较突出的运行工况,也是实现电站自动化所必须解决的核心问题:

1. 发电机组转换过程中的短时失电问题

运行中的船舶发电机组一旦发生故障,控制系统立即将后备机组投入,以替换故障机组。这种更换可以有两种操作方式,一种是先退出故障机组,然后将后备机组接入,称为先退后并的投入方式;另一种是先将后备发电机组起动投入运行,将故障机组的负荷全部转移到新投入的机组上,然后将故障机组退出,这种方式称为先并后退的投入方式。前一种方式如果原先只有一台发电机组在运行,将会造成短暂的失电。由于发电机组转换的时间很短,这两种转换方式都是允许的。电力系统向所有用电设备提供有限中断电源可以满足大多数负载的需要。我国《钢质海船建造规范》规定:供电中断时间不得超过 30s。因此,系统和设备的设计应保证电气设备在短暂失电恢复后仍能执行其原有的功能,需要配备不中断电源的设备应将不中断电源作为用电设备的一个组成部分来考虑。

2. 同步发电机组随电网负荷变化而自动起动和停机

为了船舶电站运行的经济性,船舶自动化电站均配备了发电机组随电网负荷自动投入或切除的装置,应满足以下原则:

(1) 同步发电机组的运行原则

自动控制系统投入或切除发电机组有两种原则,即按功率或按电流的原则。按功率原则运行是按电网负荷功率的增减自动投入或切除备用发电机组。按电流原则运行则以电流代替功率作为判定发电机组投入或切除的依据。不论功率因素如何变化,电流原则均可使发电机组不发生超载,检测电流的装置也较简单,易调节。由于大多数船舶电网功率因数变化不大,功率原则更能反映发电机的实际运行情况,又可避免电动机短时低功率因数起动电流冲击引起备用机组不必要的投入,因此,按功率运行原则应用更为普遍。

(2) 同步发电机组起动和停止运行原则

当使发电机组在运行中留有一定的功率余量,通常取稍低于发电机额定功率的某一数值,如 $85\%P_r$ 作为起动后备发电机组的功率电平。电网负载下降时,则选取某一较低的功率,如 $40\%P_r$ 作为后备发电机组退出电网的功率电平,以避免在电网处于某一负荷范围时引起后备发电机组反复起停的现象。发电机组起动、停止的功率电平以及发电机组保持的功率裕度应根据船舶的运行情况和发电设备的性能来确定。

船舶电站一般由相同类型的发电机组组成,但是现代船舶电站,从节能的角度出发,还安装有节能型发电机组,因此,应对各机组运行过程进行分析,以便满足相应机组起动和停止的控制要求,一般借助发电机组运行负荷图进行分析。例如,一艘远洋货轮配备一台 600 kW 废气涡轮发电机,三台 400 kW 柴油发电机。电力系统要求:废气涡轮发电机至少和一台柴油发电机组并联运行(考虑系统供电可靠性);为了防止磨损,柴油发电机组必须保持在不低于 $40\%P_r$ 的状态下运行。满足了以上两个条件,先让废气涡轮发电机达到满负荷,以充分利用废气的余热,另外两台柴油发电机组则根据需要依次投入,该系统的发电机组运行负荷图如图 1-3 所示。

图中 A 点表示电网功率达到 160 kW,即一台柴油发电机组达 $40\%P_r$ 。B 点表示废气涡轮

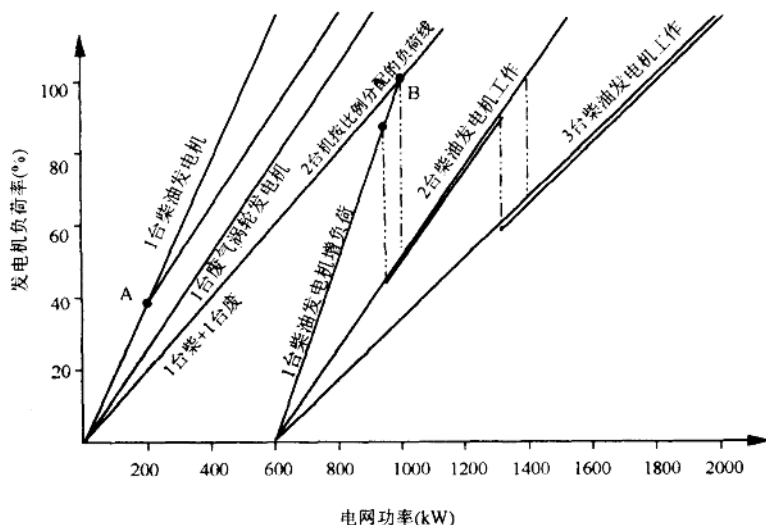


图 1-3 发电机组运行负荷图

发电机达到 $100\%P_r$ 。然后待第一台柴油发电机达 $90\%P_r$ 时,起动第二台柴油发电机。当电网负载继续增加到两台柴油发电机组均为 $90\%P_r$ 时,起动第三台柴油发电机组。

(3)同步发电机组的备机原则

自动化船舶电站中,发电机组需随时准备投入电网运行。为确保其迅速起动,承担负载而又不致于损坏,发电机组应随时做好起动准备工作,也即通常所说的备机。柴油发电机组原动机的备机主要是预热,预润滑和起动压缩空气的准备(当采用空气起动时)。备机的措施原则上应在电站自动化的总体设计中予以包括。

(4)故障紧急停机范围的确定原则

船舶电站紧急停机是一项极端措施,它的作用范围应该严格控制,机组在运行中的一般故障应依靠预报和警报告知值班人员及时排除,只有当发生可能危及发电机组或电力系统安全的重大事故时才需要紧急停机。常见的有:

柴油发电机组	a. 原动机超速	汽轮发电机组	a. 原动机超速
	b. 电网严重短路		b. 润滑油压力过低
	c. 冷却水温过高		c. 排气背压升高
	d. 润滑油压力过低		

(5)报警系统和信号显示设置原则

监视和报警是对电站实施有效控制的一项重要保证措施,即使在自动化程度不高的船舶电站中,周密的监视和报警措施也会给电站的运行和管理带来很大的方便,并使电站的安全得到可靠的保障。监视报警和信号显示方面应考虑的内容有:

①确定显示和报警的项目

显示报警的项目主要由电站操作使用的需要来确定,除了保证机器正常运行所必需的内容外,还可以根据电站自动化的需要和操作的习惯增加适当的项目。自动化电站中常见的报警项目如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的显示报警项目

	检 测 项 目	显 示 内 容	报 警 内 容
柴 油 机	燃油	压 力	低
	滑油(柴油机及发电机)	压 力	低
	滑油(柴油机及发电机)	温 度	高
	冷却油(喷油器及发电机轴承)	温 度	高
	排气(柴油机每缸和总管)	温 度	—
	起动空气	压 力	低
	冷却水出口(柴油机每缸及发电机)	温 度	高
	冷却水进口	温 度	—
	冷却水膨胀箱(不与主冷却系统相连的)	水 压	低
	日用柴油柜	液 位	低
	机组	转 速	过高
汽 轮 船	滑油	压 力	低
	油封蒸汽	压 力	高、低
	辅冷凝器	绝对压力	高
	辅冷凝器的冷凝水	水 位	高
	辅冷凝器的冷凝水	盐 度	过高
	冷凝水	油 污	过高
	抽气泵输入	压 力	低
	机组	转 速	过高
发 电 机	发电机出风口	温 度	高
	发电机轴承	温 度	高
	发电机参数	电 压	高、低
	发电机参数	频 率	高、低
	发电机参数	功 率	—

②确定监视的方式

目前,船舶电站常用的监视方式有以下三种:

a. 个别长时间监视方式。这种监视方式线路简单,信号之间相互干扰少。但当监视的内容超过一定数量时,线路就显得杂,故一般只用于检测监视项目不多的船舶电站中。其原理框图如图 1-4 所示。

b. 巡回检测监视方式。巡回检测装置可以对电站系统的大量参数自动进行巡回检测、数字显示、监视报警和记录,同时可以输出信息,通过电子计算机或其他自动控制设备控制相应的机器运行。但这种监视方式的不足之处是参数测量不连续,而且不论其重要程度如何,测量的机会均等。此外,许多巡回检测设备采用了继电器等易损元件,降低了装置工作的可靠性,因此,近年来巡回检测在船舶上的应用不如以往广泛。其原理框图如图 1-5 所示。

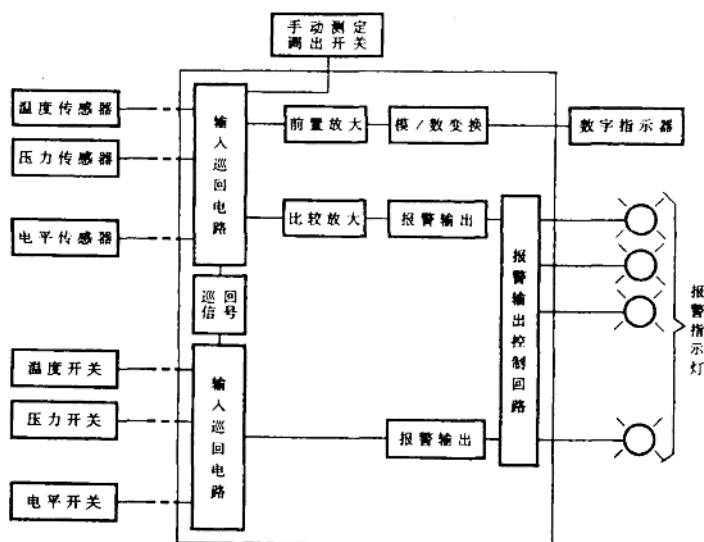


图 1-4 个别长时间监视方式

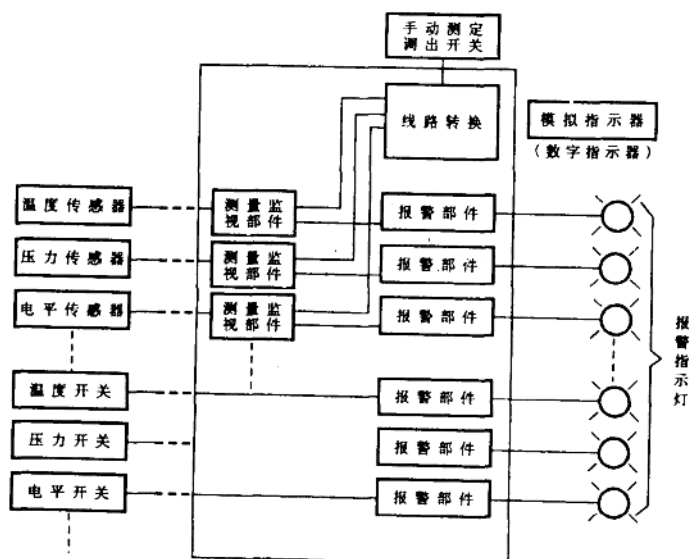


图 1-5 巡回检测监视方式

c. 时间分割多路传输监视方式。多路传输是在微处理机的基础上发展起来的。它具有巡回检测的各种功能,而且反应迅速、显示连续、节省传输电缆等优点,因此,是一种很有前途的监视方式,近年来已广泛应用于电站控制性能要求较高的船舶上,其原理框图如图 1-6 所示。

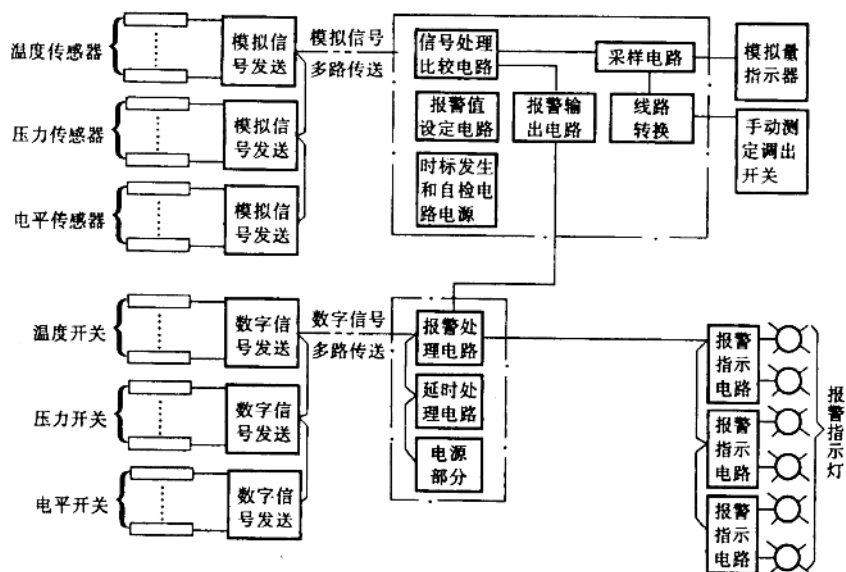


图 1-6 时间分割多路传输监视方式

第二章 船舶电站自动控制装置

现代船舶电气化、自动化程度越来越高,对船舶电站系统各项指标的要求也越来越严格,如何在恶劣的环境条件下保证船舶最大限度的供电连续性以及在工况繁杂多变的条件下自动维持优良的供电品质,是船舶电站自动调节与控制装置的任务。本章分别介绍船舶同步发电机自动并联运行控制装置,自动调压、调频装置的工作原理。

第一节 船舶同步发电机组自动并车装置

一、船舶同步发电机并联运行的优越性

两台或两台以上同步发电机同时工作,通过共同的公共母线供电给全船的电力负荷称为并联运行。现代船舶电站一般都采用并联运行的方式,这是因为:

1. 船舶电力负荷随船舶工况的变动而经常变动,例如航行工况与停泊无装卸工况的负荷差别很大,我们知道,对发电机来说,一般都设计成在接近满负荷使用时具有最高的效率,因此船舶电站总是设计成两台以上的发电机组,在小负荷时,适宜于单机运行,而负荷大时,则采用两台或两台以上发电机并联运行,这样能保证在各种不同的工况下,运行中的发电机组都能在高效率下工作。

2. 为了保证供电的可靠性和连续性,船舶电站总设有备用发电机组,当要检修运行中的发电机组时,先将备用机组起动并与电网并联后,再转移负载,将拟检修之运行机组的负载转移至备用机组后,再从电网解列,这样可以保证不停电的检修运行中的发电机组。

二、同步发电机组并联运行的方法

船舶同步发电机组并联运行的方法可分为两大类,即自同期法和准同步法:

1. 自同期法是将未经励磁的发电机的转速加速到接近同步转速,再将主开关合闸,并立即给发电机加上励磁,依靠机组间自整步作用而拉入同步,这种方法虽然操作简单,易于掌握,但在合闸瞬间冲击电流和冲击转矩大,电压降落严重,而船舶电站的容量相对较小,因此,此法日前在船上应用极少。

2. 准确同步法是将待并发电机组及运行发电机组的电压、频率及相位都调得十分接近,再合上待并发电机的主开关。此法在进行并车操作时引起的冲击电流、冲击转矩和母线电压的下降都很小,对系统的影响较小,是目前船舶上普遍采用的并车方法。不过采用此法并车时,对操作者的素质要求高,若因某种原因造成非同步并联时,将造成很大的冲击电流,最严重时其冲击电流与机端三相短路电流相同。因此,若采用自动并车装置时,应保证其有足够的可靠性。

船舶同步发电机并车装置一般分为手动并车装置和自动并车装置,手动并车装置包括:灯光法(灯光明暗法和灯光旋转法)、整步表法、粗同步并车法,自动并车装置(见图 2-1)一般有采用半导体集成电路构成的自动并车装置和近年来采用微机控制技术的自动并车装置。常规船舶电站一般采用手动并车或半自动并车法,如整步表并车法或粗同步并车法。现代自动化船

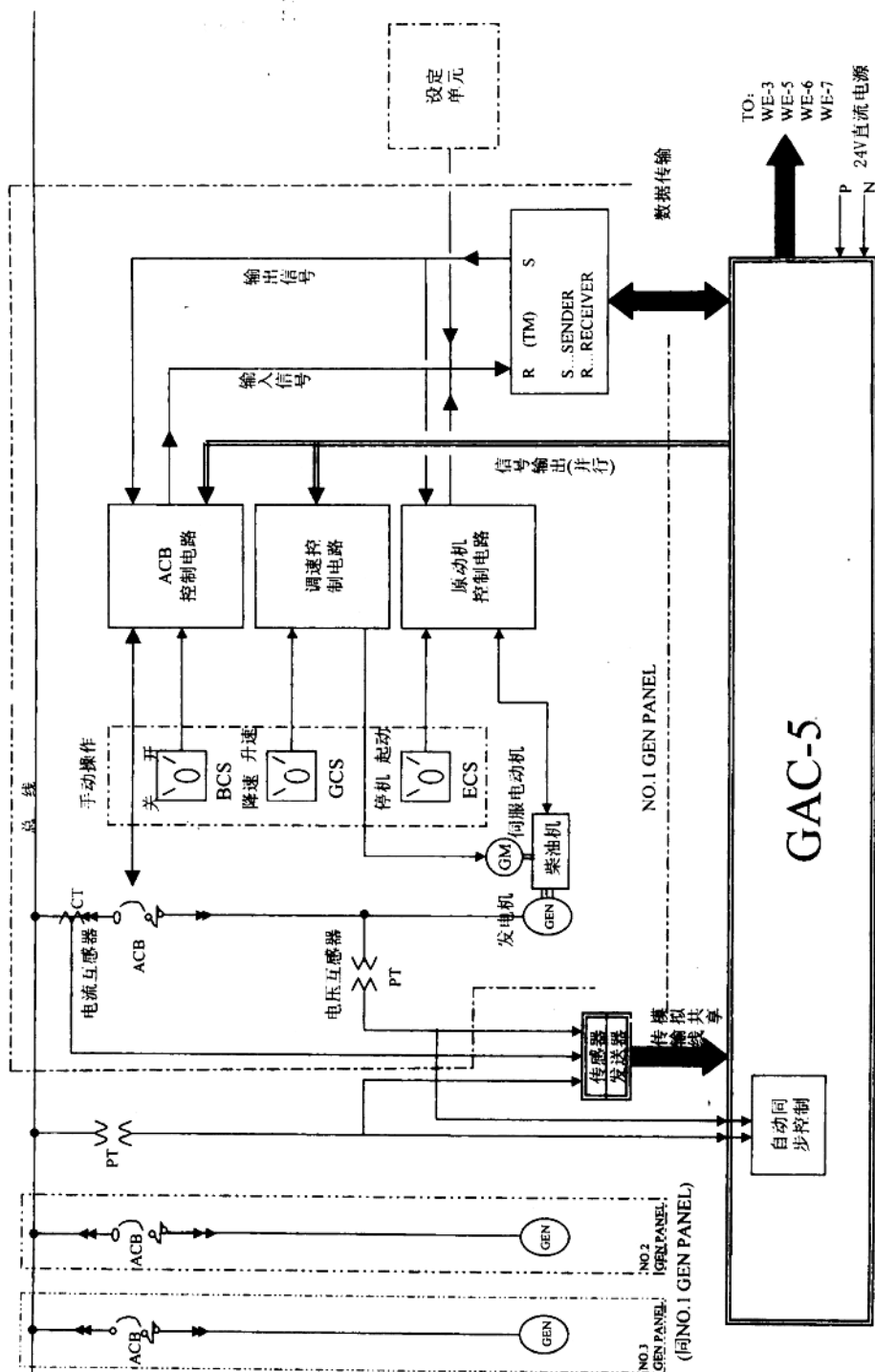


图 2-1 GAC-5C 型自动控制系统结构框图

船电站多采用全自动并车装置,同时为了提高电站运行可靠性,在装有自动并车装置的同时,还配有手动并车装置。当前,自动并车装置已成为整个船舶电站自动化系统的一个组成部分。

三、GAC-5C 型船舶发电机组自动并车装置

1. 概况

GAC-5C 型船舶同步发电机自动控制装置是日本 TERASAKI 生产的,具有很广的适应性、良好的可操作性和极高的可靠性。它除了具有自动并车功能外,还具有对船舶同步发电机组综合自动控制的功能,不但适合于各种等级的无人机舱自动化船舶,而且可实现对发电机的最佳控制以达到节能的效果。该系统还具有以下特点:(1)使用中央微处理器和综合信号传输及软件处理技术,达到简化控制系统硬件体积的目的;(2)实现对系统运行过程的连续巡回监视、检测 and 全自动自诊断;(3)系统的设计还包括手动控制部分,而且符合手动控制优先于自动控制,且与保护系统 and 安全保障系统相互独立,以确保电力系统的可靠性;(4)整个控制装置的工作电压为 $DC24 \pm 25\%$,额定工作电流为 2.5 A ,体积为 $330\text{ mm}(\text{宽}) \times 380\text{ mm}(\text{高}) \times 480\text{ mm}(\text{深})$,可安装在发电机主配电板的并车屏上。

2. 系统的结构

图 2-1 给出 GAC-5C 型自动控制系统的结构框图,整个系统包括以下三个部分:

手动控制:手动控制模块是独立于 GAC-5C 的操作控制电路,它包括发电机主空气断路器 ACB、速度控制、柴油机控制电路等,如图中的 BCS、GCS、ECS 等环节。

信号传输:该环节主要用于进行 GAC-5C 主单元与外部线路之间数据和控制信号的传输,它采用先进的时间分割多路传输法进行传输,同时采用两种制式传输信号,一路传输二进制数据(TM)另一路传输模拟量信号(TMA),其原理线路如图 2-2 所示。图中 SA、SB 为同步旋转开关, TM 主要用于传输系统的开关量,如柴油机互锁信号、ACB 闭合信号,开关控制信

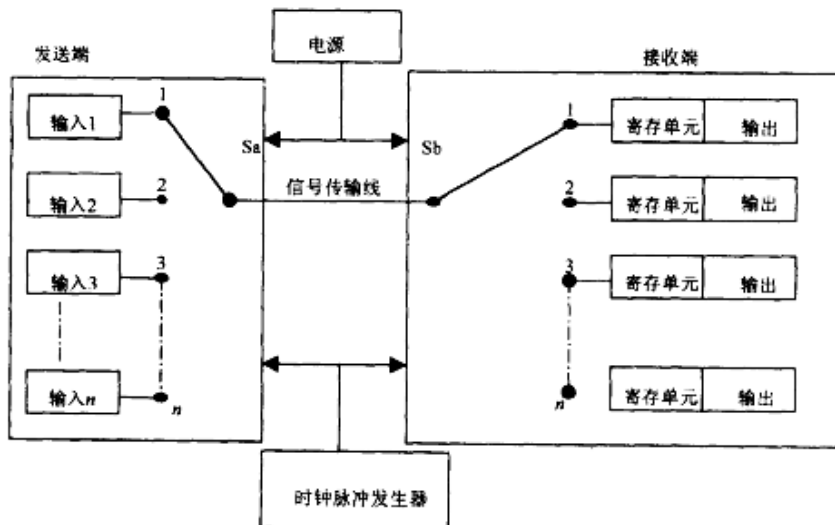


图 2-2 信号传输原理图

号等;TMA 主要用于传输系统电信号的模拟量,如发电机的电流、电压等信号。

GAC-5C 主单元:它是整个控制系统的核心,其原理线路如图 2-3 所示,主单元由电源、

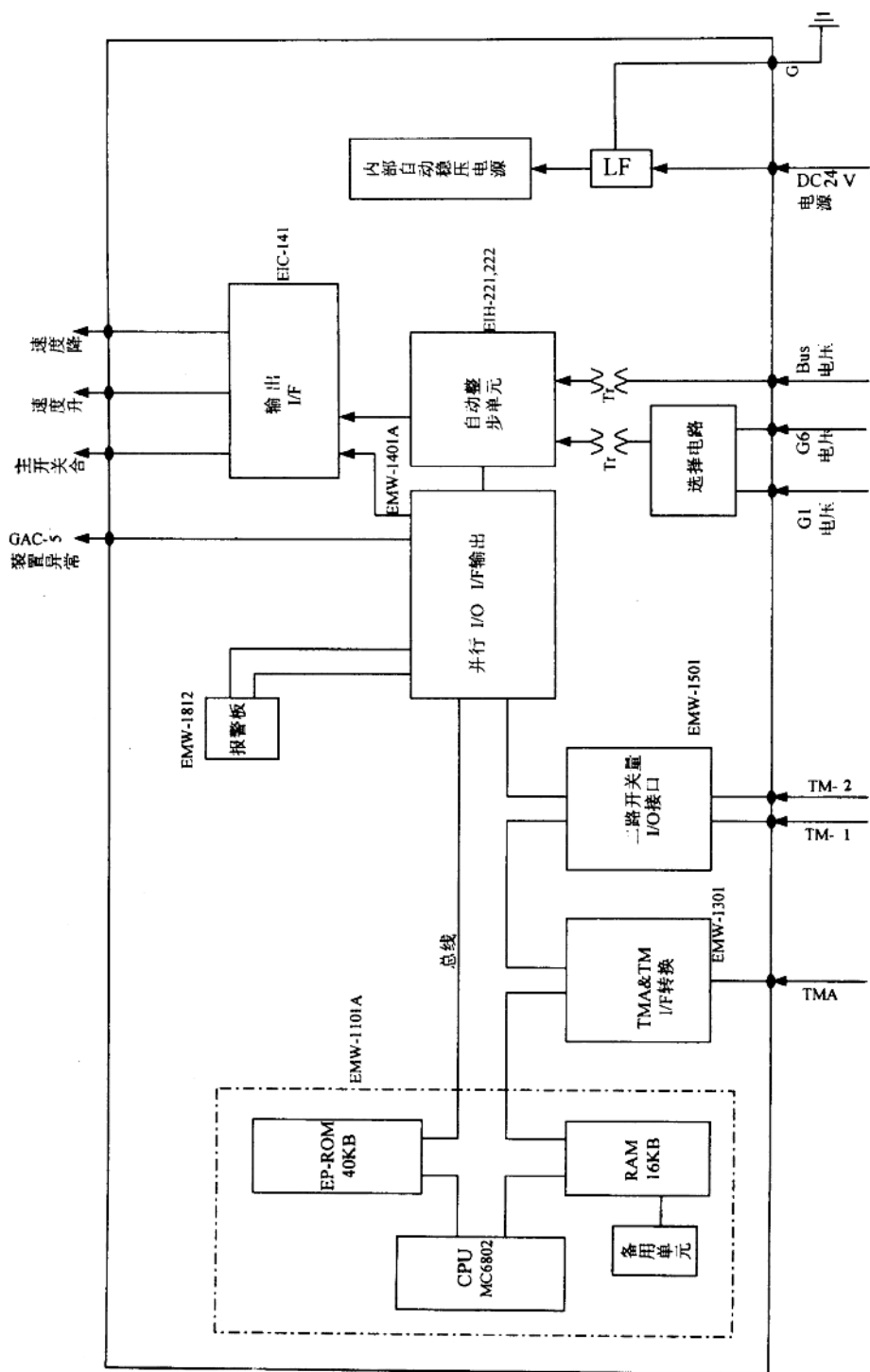


图 2-3 GAC-5C 单元原理图

CPU 存储器接口及自动整步控制电路等组成,电源由普通船舶 24 V 经滤波、稳压而得;CPU 和存储器由 MOTOROLA MC6802, RAM, ROM 等组成,随机存储器和只读存储器均由 CMOS 芯片组成,具有低功耗、高抗干扰性能等;接口包括 TMA 模拟量传输接口 (EMW1301), TM 开关量传输接口 (双通道 EMW-1501) 及并行 I/O 口 (EMW-1401A);自动整步控制电路主要是对发电机自动整步所需的电压差信号,通过隔离变压器分别把目前发电机和电网电压信号引入自动整步控制电路进行合成比较,从而输出差值信号,本环节还具有自动显示系统参数的功能。

3. 自动并车装置的工作过程

本装置可以实现船舶电站同步发电机组间的相互自动并联,其基本原理也是通过比较待并发电机与电网电压的频率,并通过调速器调节待并发电机的频率,使其接近电网电压频率,当两者的差值在设定范围内时,输出合闸指令,ACB 控制电路按恒定越前时间原则提前合闸,以实现在待并发电机与电网电压相位一致时合闸,克服合闸瞬间的电压冲击。本装置允许的频差范围为 $0.1 \sim 0.5 \text{ Hz}$,可调,允许压差为 $(2\% \sim 10\%)U_n$ 。通过 GAC-5C 主单元中的同步检测模块 EIH-221,速度匹配模块 EIH-222 和输出接口 EIC-141 来实现。

(1) 同步检测模块 EIH-221 卡

该模块电路通过比较来自隔离变压器的发电机电压和电网电压,以检测两者的电压差和频率差是否符合设定值,通常设定的电压差值为 $3\%U_n$,频率差为 0.3 Hz ,一旦上述两条件满足,则输出一合闸指令,该指令通过输出接口给 ACB 主空气开关控制电路,控制电路根据 ACB 的固有动作时间给出相应的提前时间(一般在 130 ms 左右),使得当主开关动静触头闭合时,待并发电机电压的相对与电网电压的相位一致。在该模块上,设有信号指示和调节电位器等,如图 2-4 所示。

(2) 速度匹配模块 EIH-222 卡

该模块的作用是综合外部测量变压器输入的待并发电机电压和电网电压信号,并根据检测的频差大小和方向,产生相应的调速控制信号,调速脉冲的周期与频差的大小有关,同时可以根据不同的调速特性做相应的调整,调速控制信号通过输出接口去控制调速器的伺服马达。同样在该模块上,设有信号指示和调速电位器,如图 2-5 所示。

(3) 输出接口模块 EIC-141 卡

从 EIH-222 来的自动空气断路器 ACB 闭合指令和从 EIH-222 来的调速器控制信号通过本模块放大后再输出去控制相应的触点,在该模块电路中,设有相应的动作指示灯,当某一接触器接通,其相应的指示灯亮。

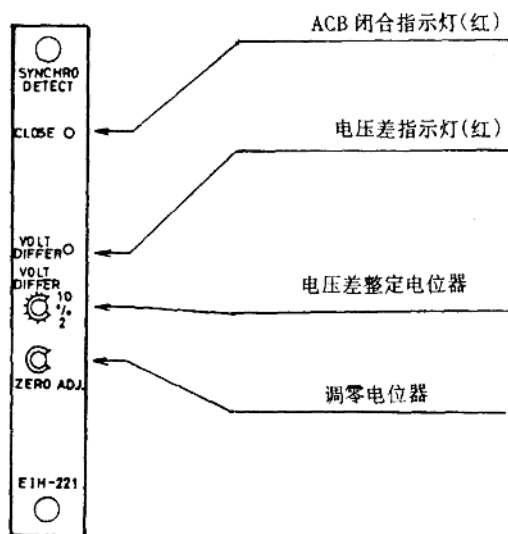


图 2-4 同步检测模块结构图