

大连海运学院 黄伦坤 朱正鹏 刘宗德编

高等学校教材

船舶电站 及其自动装置

第二版 (船电管理专业用)



人民交通出版社

高等学校教材

船舶电站及其自动装置

Chuanbo Dianzhan jiqi Zidong Zhuangzhi

第 二 版

(船电管理专业用)

大 连 海 运 学 院

黄伦坤 朱正鹏 刘宗德 编

人 民 交 通 出 版 社

(京)新登字091号

高等学校教材
船舶电站及其自动装置

第二版

(船电管理专业用)

大连海运学院

黄伦坤 朱正鹏 刘宗德 编

插图设计: 陈 竞 正文设计: 刘晓方 责任校对: 戴瑞萍

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 26.75 插页: 3 字数: 685 千

1994年5月 第1版

1994年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3000册 定价: 12.70元

ISBN 7-114-01747-2

U • 01153

内 容 提 要

本书共分八章。第一章为船舶电力系统概述，扼要地介绍了船舶电力系统、电站容量选择、配电装置、电力网和蓄电池；第二章讲述船舶电力系统短路计算；后六章分别较详细地讲述船舶电站自动装置中的自动并车、自动保护、电压及无功功率自动调整、频率及有功功率自动调整、轴带发电机电站、柴油发电机组自动控制、电站自动化总体控制等。

本书为水运高等学校船电管理专业教材，也可供从事船舶电气工作的广大船员和技术人员参考。

前 言

船舶电站是船舶的重要组成部分。电站运行的可靠性、经济性对保证船舶安全、经济航行具有重要意义。随着船舶的大型化和自动化,对船舶电站提出的要求也越来越高,因而船舶电站近二十年来有了很大的发展。其发展的突出标志是交流化和自动化。为此,本书在内容上,着重阐述了交流船舶电站的自动化装置。

船舶电站自动化,综合了许多方面的问题,其中任一问题在很大程度上都是独立的,只有全面了解这些问题,才能对船舶电站自动化的基本内容及其发展方向有个初步概念。

本书的任务,在于使读者对船舶电站自动化中各种类型的自动装置有一个总的概念,因此着重讲述了下列几种船舶电站自动装置:(1)船舶同步发电机自动并车;(2)船舶电力系统继电保护;(3)船舶同步发电机电压及无功功率自动调整;(4)船舶电力系统频率及有功功率自动调整;(5)轴带发电机电站;(6)船舶柴油发电机组自动控制及电站自动化总体控制。

本书从教学角度出发,着重于讲述基本理论,但考虑到管理专业及远洋船舶电气工作人员的需要,对一些实际应用的线路图也做了较详尽的说明。

本书由黄伦坤主编,其中第一、二、三章由刘宗德编写,第四、五章由黄伦坤编写,第六、七、八章由朱正鹏编写。

本书在编写过程中,承蒙上海海运学院和一些科研企业单位提出宝贵意见并提供资料,于此深致谢意。

由于时间仓促及水平所限,错谬之处在所难免,敬请不吝指正。

目 录

第一章 船舶电力系统概述.....	(1)
第一节 船舶电力系统.....	(1)
一、船舶电力系统的组成.....	(1)
二、船舶电力系统的特点及对其基本要求.....	(2)
三、船舶电力系统的基本参数.....	(4)
四、船舶电力系统的发展概况.....	(7)
第二节 船舶主电站容量确定和发电机组台数的选择.....	(8)
一、确定船舶电站容量的目的和方法.....	(8)
二、按需要系数法确定电站容量.....	(9)
三、按三类负荷法确定电站容量.....	(12)
四、按概率论法计算电站容量.....	(20)
第三节 船舶配电装置.....	(23)
一、概述.....	(23)
二、配电装置中的开关电器和控制电器.....	(25)
三、测量仪表.....	(26)
四、互感器.....	(28)
五、选择电器和载流元件的条件.....	(29)
六、主配电板.....	(32)
七、应急配电板.....	(34)
八、充放电板.....	(34)
九、区域配电板和分配电板.....	(35)
十、岸电箱和其他电板.....	(37)
第四节 船舶电力网.....	(37)
一、船舶电网的分类.....	(37)
二、船舶电网的结线方式.....	(38)
三、船用电缆.....	(40)
第五节 蓄电池.....	(50)
一、蓄电池在船上的应用.....	(50)
二、酸性蓄电池.....	(50)
三、碱性蓄电池.....	(54)
第二章 舰艇电力系统短路计算.....	(58)
第一节 概述.....	(58)
第二节 同步发电机三相短路的物理过程.....	(59)
第三节 电力系统三相短路分析.....	(61)
一、无限大容量电源系统三相短路分析.....	(61)

二、短路电流最大值出现的条件与大小	(63)
三、无限大容量电源计算短路电流的公式	(61)
四、标么值法	(65)
五、暂态过程中短路电流周期分量的变化规律	(66)
第四节 英国“劳氏”(LR)船级社的短路电流计算方法	(67)
一、计算短路点B的短路电流	(63)
二、计算短路点C的短路电流	(69)
三、“劳氏”算法中的几点说明	(70)
第五节 国标(GB)中关于船舶交流电力系统的短路计算	(72)
一、概述	(72)
二、基本计算公式	(72)
三、关于GB3321中的几点规定	(75)
四、中华人民共和国国家标准(GB3321—82)——船舶交流电力系统的短路计算	(77)
五、短路计算举例	(90)
第三章 船舶同步发电机自动整步	(94)
第一节 概述	(94)
一、准确同期法	(94)
二、自同期法	(94)
第二节 船舶同步发电机的准确同步	(95)
一、并联运行的条件	(95)
二、手动准同步并车方法	(99)
三、粗同步并车方法	(105)
第三节 船舶同步发电机准同步自动并车原理	(106)
一、对自动并车装置的基本要求	(106)
二、脉动电压的形成和性质	(107)
三、准同步自动并车装置分类	(109)
四、自动准同步并车装置的基本原理	(109)
第四节 TZT-1型交流发电机通用自动并车装置	(124)
一、概述	(124)
二、频率预调的工作原理	(125)
三、电抗器接通控制电路	(127)
四、主开关合闸控制及电抗器的自动切除	(129)
第五节 ZB-1A自动整步器	(129)
一、概述	(129)
二、单元逻辑元件介绍	(131)
三、差频三角波的形成	(133)
四、差频符号的鉴别和调速信号的输出	(135)
五、超前时间的合闸信号发生电路	(137)
六、最大允许合闸频差检测电路	(137)

七、投入角限制和大频差闭锁	(137)
八、电压差闭锁电路	(138)
九、合闸信号的产生	(138)
十、单机投入电路	(138)
第四章 船舶电力系统继电保护	(140)
第一节 概述	(140)
一、继电保护的任务和作用	(140)
二、对继电保护装置的基本要求	(141)
三、继电器	(142)
四、继电保护的基本原理	(146)
第二节 晶体管继电保护装置的基本电路	(147)
一、晶体管继电保护装置的基本结构	(147)
二、电压形成回路	(148)
三、起动电路	(150)
四、时限电路	(153)
五、出口电路	(155)
第三节 船舶同步发电机的继电保护	(157)
一、船舶同步发电机的不正常运行和故障及其所设继电保护	(157)
二、船舶同步发电机的过载保护	(157)
三、船舶同步发电机外部短路保护	(159)
四、船舶同步发电机的欠压保护	(162)
第四节 船用万能式自动空气断路器	(163)
一、作用	(163)
二、基本功能和结构原理	(163)
三、操作方式	(163)
四、所带继电保护装置的基本原理	(169)
五、自动开关的选择	(175)
六、自动开关的检修	(175)
第五节 自动分级卸载保护装置	(178)
一、作用	(178)
二、工作原理	(178)
三、整定和检查方法	(182)
第六节 逆功率保护及逆功率继电器	(182)
一、逆功率保护	(182)
二、GG-21感应型逆功率继电器	(183)
三、整流型逆功率继电保护装置	(186)
四、晶体管型逆功率继电保护装置举例	(189)
第七节 船舶同步发电机综合继电保护装置	(191)
一、SATR-6型过电流、逆功率综合保护装置	(191)
二、船用综合保护装置	(197)

三、GENOP21型过电流及逆功率综合保护装置	(203)
第八节 船舶高压同步发电机的继电保护	(206)
一、发电机的纵差动保护	(206)
二、发电机定子绕组单相接地保护	(208)
三、发电机转子回路接地保护	(211)
第九节 船舶电力变压器的继电保护	(212)
一、变压器的电流速断保护	(212)
二、变压器的过电流保护	(213)
三、变压器的过负荷保护	(213)
第十节 船舶电网的继电保护及其保护装置	(214)
一、装置式自动空气断路器及熔断器	(214)
二、船舶电网的继电保护	(215)
三、船舶电网单相接地监视及绝缘检测	(218)
四、岸电供电的保护	(219)
第十一节 船舶电动机的继电保护	(222)
一、电流速断及过负荷保护	(222)
二、电动机的单相接地保护	(223)
三、电动机的低电压保护	(223)
第五章 船舶同步发电机电压及无功功率自动调整	(225)
第一节 概述	(225)
一、同步发电机电压变化的原因、后果和调压基本措施	(225)
二、自动电压调整器的作用	(226)
三、对调压器的基本要求	(227)
四、船舶同步发电机自动调压器的基本作用原理	(229)
五、调压器的分类	(229)
第二节 不可控相复励自励恒压励磁系统	(230)
一、自励同步发电机自励起压基本原理	(230)
二、不可控相复励恒压基本原理	(232)
第三节 电流迭加相复励自励恒压装置	(234)
一、原理接线图及工作原理	(234)
二、调压器电路计算及分析	(234)
第四节 电磁迭加谐振式相复励自励恒压装置	(238)
一、原理接线图及工作原理	(238)
二、等值电路分析	(239)
三、电容器 CQ 的谐振起压作用	(241)
第五节 电磁迭加具有电压曲折绕组的自励恒压装置	(244)
一、原理接线图及结构	(244)
二、作用原理	(244)
三、不可控相复励自励恒压装置安装调试及故障维护	(246)
四、不可控相复励自励恒压系统各装置比较	(247)

第六节 可控硅自励恒压励磁系统	(248)
一、可控硅自励恒压励磁系统基本工作原理	(248)
二、可控硅自励恒压励磁系统基本电路	(248)
第七节 可控硅自励恒压装置	(256)
一、TZ-250 型可控硅自励恒压装置	(256)
二、TZ-500 型可控硅自励恒压装置	(259)
三、TUR 型可控硅自励恒压装置	(263)
四、SMUJ-75 型可控硅自励恒压装置	(266)
第八节 可控相复励自励恒压励磁系统	(269)
一、基本作用原理	(269)
二、TZ-F 型可控相复励自励恒压装置	(269)
三、CRB 型可控相复励自励恒压装置	(273)
第九节 无刷同步发电机和谐波励磁系统	(275)
一、无刷同步发电机	(275)
二、具有谐波励磁的WST-400 无刷同步发电机励磁装置	(276)
第十节 船舶同步发电机间无功功率自动分配	(282)
一、并联运行发电机间无功功率自动分配基本原理	(282)
二、无功负荷自动分配装置	(286)
第十一节 船舶发电机自动励磁系统的动态特性	(290)
一、改善动态特性的途径	(290)
二、自动调节励磁系统的稳定性	(293)
第十二节 自动励磁对船舶电力系统稳定性的影响	(294)
一、无励磁调节的发电机与岸电并联运行的稳定性	(295)
二、无励磁调节的两台船舶发电机并联运行的稳定性	(298)
三、有励磁调节的发电机与岸电并联运行的稳定性	(300)
四、有自动励磁的两台船舶发电机并联运行的稳定性	(303)
第十三节 自动无功补偿	(306)
一、作用	(306)
二、补偿设备的容量	(307)
三、补偿方式	(308)
四、容量自动调节	(308)
第六章 船舶电力系统频率及有功功率自动调整	(309)
第一节 频率和有功功率的自动调整	(309)
一、概述	(309)
二、电力系统频率变化的原因	(309)
三、电力系统负荷的静态频率特性和负荷调节效应	(310)
四、同步发电机的功角特性	(311)
五、调速器的基本原理及其特性	(312)
六、单机运行时频率的调整——调速特性的平移	(314)
七、并联运行机组间有功功率的转移和分配	(315)

第二节 自动调频调载装置的组成和调频调载的方法	(317)
一、概述	(317)
二、自动调频调载装置的基本组成	(318)
三、自动调频调载的方法	(324)
四、二次调节系统的稳定性及系统的参数设置	(334)
第三节 突加负荷在并联运行机组间的分配过程	(337)
第四节 EPF-3 型自动调频调载装置	(342)
一、操作方式	(342)
二、EPF-3型自动调频调载装置作用原理	(343)
三、EPF-3型自动调频调载装置的工作过程	(346)
第五节 SGA23 自动调频调载部分的分析	(347)
第七章 轴带发电机电站	(361)
第一节 概述	(361)
第二节 带整流—逆变中间环节的轴带发电系统	(364)
第三节 轴带发电机额定输出功率特性和控制方案的确定	(368)
第四节 西门子轴带发电系统控制器的组成和原理	(376)
第五节 调相机在轴带发电系统中的作用	(381)
第八章 船舶柴油发电机组及电站运行自动控制	(384)
第一节 柴油发电机组自动控制的基本概念	(384)
第二节 船舶柴油发电机组自动启动/停车程序控制实例	(388)
一、ZK-135 型船舶应急发电机组自动控制装置	(388)
二、船舶主柴油发电机组全继电器式自动控制装置	(391)
第三节 柴油发电机组及电站自动控制装置	(396)
一、柴油发电机组的自动启动	(396)
二、自动合闸及自动重合闸	(401)
三、柴油发电机组的停机	(402)
四、指示、故障报警和打印系统及模拟试验	(404)
第四节 船舶电站运行自动化的总体控制	(405)
一、总体控制的一般功能	(406)
二、船舶电站运行自动控制流程图	(416)

第一章 船舶电力系统概述

第一节 船舶电力系统

一、船舶电力系统的组成

船舶电力系统主要由电源、配电装置、电力网和电力负载四部分组成。其单线图，如图1-1所示。

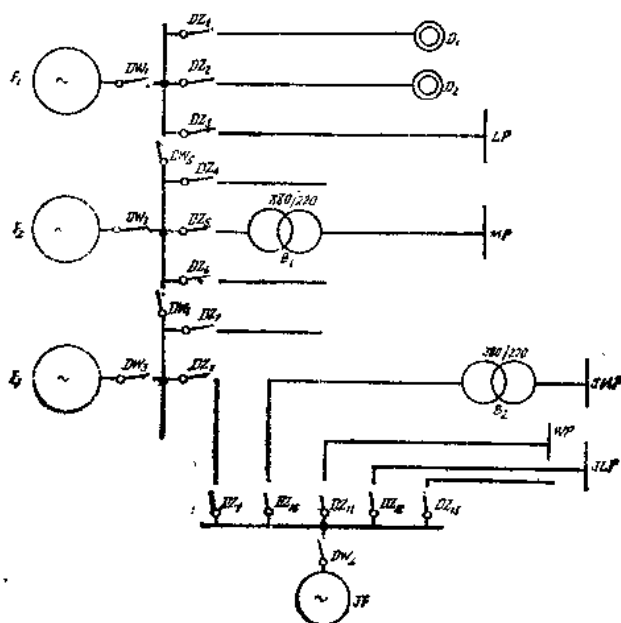


图1-1 船舶电力系统简图

LP-电力分配板；MP-照明分配板；JMP-应急照明分配板；WP-无线配电板；JLP-应急电力分配板；D₁、D₂-总配电板直接供电的电动机；JF-应急发电机；F₁、F₂、F₃-主发电机；DW₁、DW₂、DW₃-发电机主开关；DW₄-应急发电机主开关；DW₅、DW₆-母线分段开关；DZ₁~DZ₁₄-装置式自动开关；B₁、B₂-照明变压器

1. 电源

电源是将机械能、化学能等能源转变为电能的装置。船舶电源主要为发电机，蓄电池只能用作小应急电源。

2. 配电装置

配电装置是对船舶电源、电力网和电力负载进行保护、测量、监视和控制的装置。它包括各种开关电器、测量仪表、互感器、连接母线、继电保护、自动装置及各种辅助设备。根据供电范围和对象的不同，配电装置可分为主配电板、应急配电板、各种照明及动力配电板及蓄电池充放电板等。

3. 船舶电力网

船舶电力网是全船电缆电线的总称。其作用是将电能的生产者（各种电源）和电能的消费者（各种电力负载）联系起来。船舶电力网根据其所联接的负载性质，可以分为动力电网、照明电网、应急电网、小应急电网等。

4. 负载

船舶电力负载大体可分为如下几类：

1) 船舶各种机械的电力拖动

甲板机械——舵机、锚机、绞缆机、起货机、舷梯绞车、吊艇机等；

舱室机械——各类油泵、水泵、空压机、冷冻机、通风机、空调设备等；

电力推进船舶或特种工程船舶使用的推进电动机及生产机械用电。

2) 船舶电气照明

工作场所和生活舱室安装的各种照明灯具及各种航行灯和信号灯具用电。

3) 船舶通信和电航设备

船舶通信设备有无线电收发报机、电话、广播、声光报警装置、电钟、舵角指示器等。

电航设备有陀螺罗经、雷达、罗兰、无线电测向仪、电测深仪、电计程仪等。

4) 其他用电设备

如电热器、洗衣机、电视机、录相机等家用电器。

二、船舶电力系统的特点及对其基本要求

1. 船舶电力系统的特点

与陆上大电力系统相比，船舶电力系统有如下特点：

1) 系统容量与发电机单机容量及类型

船舶电力系统一般电源只有一个电站，电站大多由2~4台相同型号的发电机组构成。单机容量不超过1000kVA，电站总容量不超过2000kVA。陆上电力系统一般都由许多个不同类型的发电厂组成其电源，电力系统总的装机容量小的为1000MW，大者则高达 10^5 MW以上，单台发电机容量最大已达1200 MW。船舶发电机的原动机多采用柴油机，因其启动快，机动性强。随着节能的需要，轴带发电机及废气汽轮发电机的使用也渐多，核能只用于军舰及破冰船上；陆地上考虑效率和经济性，火电厂及热电厂多采用汽轮发电机，原子能电厂的原动机也仍用汽轮机，汽轮机因转速很高（3000r/min），故发电机多采用隐极机，水电厂使用水轮发电机，水轮机组因转速很低，大多与柴油发电机相似，都采用凸极发电机。

2) 配电装置

由于陆上电力系统容量大，输电距离长，为了降低工作电流，减少电压损耗及功率损耗，因此发电机输出电压达数千伏甚至几万伏，输电线路最高电压已达500kV。开关电器大多采用高压设备，各种变、配电装置种类繁多，以适应不同电压等级，不同绝缘水平的需要。继电保护与自动装置比之船舶也复杂得多，仅发电机保护就有差动、速断、过流、转子一点接地、两点接地等多种，电网保护则有过流、距离、高频等多套保护。另外还有母线保护，防雷及接地保护等。自动装置已发展到以计算机为中心的电力系统自动监视和控制环节，保证系统安全经济运行。自动监控系统能满足电力系统并列运行的稳定性和供电可靠性的要求，保证电能质量及控制电力设备运行参数，对电力系统中机组的有功和无功功率及某些节点的电压进行监视与测量，对联络线和变压器的传输功率进行控制。为与自动监控系统

配套，遥测、遥信、遥调与遥控等远动装置在陆上大电力系统中也已经普及，实现了调度中心与发电厂、变电所之间实时信息的自动传输。

船舶电力系统因容量小，送电距离短，电压等级少而低，目前大多采用 500V 以下的电压，故变电设备、配电设备、开关电器、绝缘要求、继电保护与自动装置都比陆上简单。

3) 电力网

电力网主要由架空线及电缆构成。架空线由导线、杆塔、绝缘子和属具组成，电缆则由导电芯线和包覆芯线的绝缘材料和外护层组成。陆上电力系统输电线路电压高、距离长，大多采用架空线。架空线利用空气和绝缘子实现导体线间绝缘和导线与大地的绝缘。为防止空气被高压击穿，线间距离随电压的提高而加大。并容易受外力破坏而发生故障。电缆在传输高压电时，因绝缘要求高而使工艺复杂，造价比架空线高许多倍，故除非特殊需要，一般均使用架空线。船上由于环境的限制，加之供电电压低、距离短，因此全部采用电缆。电缆线路的可靠性高，遭受雷击和外力破坏的可能性小。

4) 船舶负载的特点

船舶负载主要是电动机及照明装置。船上某些大电动机的功率与船舶电站运行发电机的功率可相比拟，大电动机起动电流甚至超过发电机额定电流，因此相互影响大。电动机起动时，电网电压降落大，发电机组的转速与频率波动也大，因此对船舶发电机的调压器与调速器都提出了较高的要求。陆上电力系统容量比每一个负载的功率要大得多，可以认为是无限大容量电源，电源的内阻为零，电源的电压可认为是一个常数。

2. 对船舶电气设备的基本要求

船舶设计与建造时，对电气设备的选择及安装必须考虑船的航线、种类、吨位、主机的种类和功率以及有无特殊要求等条件。无论什么种类的船舶，对其所安装的电气设备都应注意满足下述基本要求：

1) 大小

由于船舶环境的限制，应在满足所需电气特性的前提下，尽量选用外形尺寸小的电气设备。

2) 重量

在不影响设备性能和强度的前提下，尽量选用由轻型材料制造的电气设备。还应考虑运输、安装和检修的便利。

3) 环境条件

除非另有规定，所有电气设备均应在下列环境条件下正常工作，

(1) 环境温度和初级冷却水温度，如表1-1所列。适用于电子设备的环境温度的上限

环 境 温 度

表1-1

介 质	部 位	温 度 (°C)	
		无 限 航 区	除热带外的有限航区
空 气	封 闭 处 所 内	0 ~ 45	0 ~ 40
	温度超过45°C和低于0°C的处所	按该处所温度	按该处所温度
	开 敞 甲 板	-25 ~ 45	-25 ~ 40
水		32	25

为: 55℃。

(2) 倾斜角如表1-2所列。

倾 斜 角

表1-2

设 备 组 件	倾 斜 角 (°)			
	横 向		纵 向	
	横 倾	横 摇	纵 倾	纵 摇
应急电气设备、开关设备、电器及电子设备	22.5	22.5	10	10
上列以外的设备、组件	15	22.5	5	7.5

(3) 船舶正常营运中所产生的振动和冲击。

(4) 湿度、灰尘、盐雾、油雾和霉菌。

电气设备所处环境的湿度直接影响设备的构成材料和绝缘要求。在无限航区航行的船舶, 当空气温度为50℃时, 其相对湿度达70%。

电气设备若处于充满灰尘的场所, 则容易造成设备表面放电, 使绝缘降低, 故需加适当的防护措施。

由于海水飞溅, 使甲板空间充满盐雾; 机舱里的空气中含有油雾、霉菌, 这些都会腐蚀电气设备, 因此需考虑由其引起的绝缘不良的影响。

4) 对电能质量的要求

电能质量包括电压、频率和交流电压的波形三项内容。电气设备应能在表1-3规定的电压和频率偏离额定值下, 仍能可靠工作。

电压和频率波动

表1-3

设 备	参 数	稳 态 (%)	瞬 态	
			(%)	恢复时间 (s)
一 般 设 备	电 压	+6 ~ -10	±20	1.3
	频 率	±5	±10	5
由蓄电池或半导体变流器供电的设备	电 压	±20		

交流电气设备应能在供电电源的谐波成分不大于5%的情况下正常工作。由半导体变流器供电者, 应能在出现较大谐波成分时, 正常工作。

若无专门的船舶电气产品, 则可考虑采用陆用产品加三防(防湿热、防盐雾、防霉菌)代替, 但需事先征得有关船级社认可。

三、船舶电力系统的基本参数

船舶电力系统的基本参数主要包括电制、电压、频率及配电系统。

1. 电制

电能船上应用已有近百年历史, 在本世纪50年代以前建造的船舶, 基本上以直流电制为主。因为在当时的技术条件下, 采用直流电有其明显的优越性, 主要是直流容易满足甲板机械关于速度控制的要求, 直流电动机起动冲击小, 可以实现大范围内平滑调速; 直流发电

机调压、并车简单；直流配电装置中开关电器及仪表等也均较交流简单；蓄电池可直接由电源充电，省去了整流器等。虽然直流有诸多优点，但是直流电制在工作的可靠性、经济性、维护保养方便、重量及尺寸等方面都远不如交流电制好。随着船舶电气化程度的不断提高，船舶电站容量日益增加，直流电制的固有缺陷也日益突出，明显的例子就是直流电不宜于变换电压，由220V再提高困难，这样势必增大大功率电力系统的造价和损耗。再者，自本世纪50年代以后，由于电子工业的迅速发展，大功率半导体元件、器件的生产，成功地解决了曾经阻碍船电交流化的一系列难题（调速、调压、并车、调频调载等），从而使交流电制得到飞速发展，仅用了十年左右的时间，在50年代末即奠定了交流电制在船舶上的主导地位。近年来，除了某些特种工程船舶仍采用直流电或交、直流混合电制外，几乎所有大、中型船舶都采用交流电制。

2. 配电系统

中国船级社（ZC）规范规定：根据船舶电力系统电制的不同，可分别采用如下不同种类的配电系统。

1) 直流

有双线绝缘系统；负极接地的双线系统；利用船体作负极回路的单线系统。

2) 单相交流

双线绝缘系统；一线接地的双线系统；一线利用船体作回路的单线系统。

3) 三相交流

三相绝缘系统；中性点接地的四线系统；利用船体作为中性线回路的三线系统。

但1600总吨及以上的船舶，其动力、电热及照明系统，均不应采用利用船体作回路的配电系统。

三相绝缘系统的特点是动力系统及照明系统经过变压器实现电磁联系，因没有电的直接联系，所以即使照明系统绝缘电阻较低，并不会影响到动力系统。另外，当系统中发生单相接地时，不会影响三相线间电压之间的对称关系，只是使接地相电压变为零，而非接地相电压升到线电压值（ $\sqrt{3}$ 倍），这时系统仍可供电。但必须在短时间内寻找出接地点并排除之，以免长期使非接地相工作在线电压下，造成绝缘损坏。

对中性点接地的四线系统，其特点是动力和照明可由同一电源供给，不需经过变压器变换电压，因此可以省去照明变压器，但因动力与照明系统直接连在一起，故相互影响大。另外，虽然发生单相接地时即造成短路而使接地故障立即被继电保护断开，使寻找接地点容易，但因容易造成停电而使供电可靠性降低，所以当前船舶500V以下的电力系统，大多采用三相绝缘系统。

3. 电压标准

我国“ZC”规定：直流或交流配电系统的最高电压不应超过表1-4的规定。

500V以上的配电系统，控制电压不应高于250V。

具体的电压等级一般都尽可能与岸电相同，如受电设备额定电压我国有24V、110V、220V、380V、1kV、3kV、6kV、10kV等。发电机额定电压一般应比相同电压级的受电设备高5%，如我国规定为115V、230V、400V、3.15kV、6.3kV、10.5kV等。国外船舶采用450V电压级的三相绝缘系统很多。

4. 频率标准

交流配电系统的标准频率为50Hz或60Hz。

配电系统的最高电压

表1-4

序号	用 途	最高电压 (V)	
		直 流	交 流
1	电力推进装置	1200	11000
2	固定安装, 连接于固定布线, 并符合交流电压电气装置要求的设备	500	11000
3	(1) 固定安装并连接于固定布线的电力设备、电炊设备和除室内取暖器以外的电热设备; (2) 固定安装的电力设备, 由于使用上原因需用软电缆连接的设备, 如可移动起重机等; (3) 以软电缆与插座连接, 运行中不需手握持, 并通过连续接地体的可移动设备, 如电焊变压器等	500	1000
4	(1) 居住舱室内的照明设备、取暖器; (2) 向下列设备供电的插座: ①具有双重绝缘的设备; ②由只供一个用电设备的安全隔离变压器供电的设备; (3) 本表所列以外的其他设备	250	250
5	除4(2)项以外供可携设备用的插座	50	50
6	人特别容易触电的场所, 例如潮湿舱室、狭窄处可携设备插座	24	24

5. 船舶中压电力系统

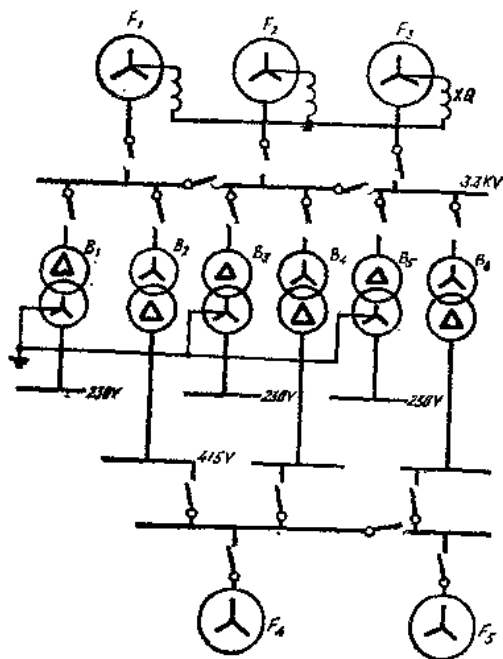


图1-2 “伊丽莎二世皇后”号电力系统简图

F_1 、 F_2 、 F_3 —主发电机, 5500kW, 3.3kV;
 B_1 、 B_2 、 B_3 —800kVA变压器;
 B_4 、 B_5 、 B_6 —1500kVA变压器;
 F_4 、 F_5 —应急柴油发电机350kW, 415V

近年来, 随着船舶电气化的进一步完善, 电能用户日益增多, 从而使发电机功率也大为增加, 从而带来如下一些问题:

1) 短路电流的增大, 使开关电器与保护装置的切断容量不能满足要求;

2) 大功率发电机(2MW以上)和电动机(200kW以上)若制定额定电压在500V以下, 在技术上将很困难, 并且在经济上也不合理;

3) 如果采用500V以下电缆输送500kW以上的功率, 将使导电芯线很粗, 有时需多股电缆并联, 造成布线和安装的困难。

为此, 提高电力系统电压已成为大功率电站必须考虑的问题, 这就是船舶中压系统产生的原因。英国“伊丽莎二世皇后”号, 采用8台5.5MW、3.3kV、60Hz的汽轮发电机组, 图1-2为该船电力系统简图。为保证供电的可靠性, 该系统中压和低压母线均采用分段运行, 母线之间用自动开关连接。为了减少系统发生单相接地时的接地电