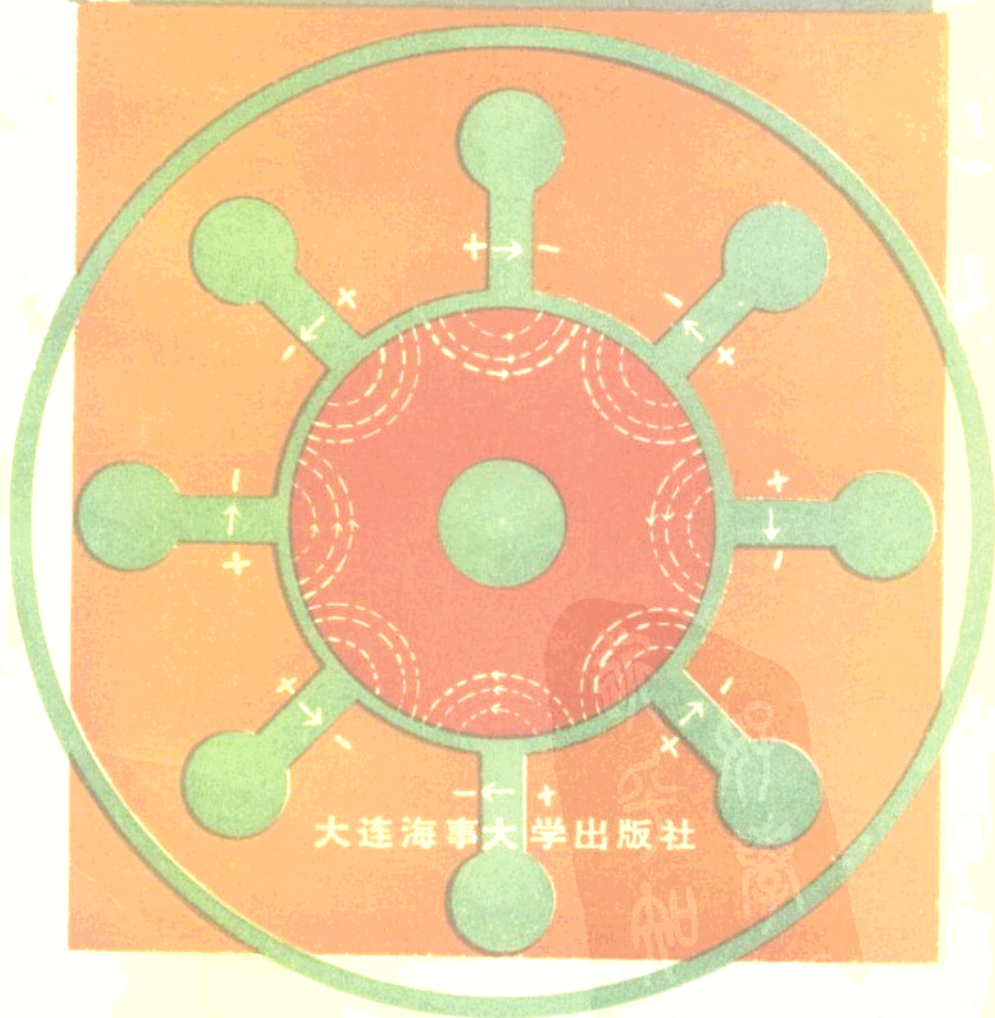


繆德刚 主编
方乃正 主审

航海雷达



J675.74
M74

413440

高等学校试用教材

航海雷达

Hanghai

Leida

(船舶驾驶专业)

缪德刚 主编

方乃正 主审



大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

内 容 提 要

本书介绍了航海雷达的发展概况,雷达与自动雷达标绘仪(ARPA)的原理、操作方法、调整及简单故障排除、性能与技术指标、目标显示与假回波、雷达定位。

本书为高等航海院校船舶驾驶专业船用导航雷达课程的教材,也可作为有关专业和船舶驾驶人员的参考书或培训教材。

DW35/25

大连海事大学出版社出版

(大 连)

庄河市华能印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1990 年 6 月第 1 版 1995 年 9 月第 2 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14.25

字数:356 千 印数:4001—7500

定价:19.80 元

ISBN 7-5632-0171-8/U·20

前 言

1983年1月在福建集美召开了交通部高等航海院校《航海仪器》课程讨论会,会上由上海海运学院、大连海运学院、青岛远洋船员学院、集美航海学院共同讨论制订了《船用导航雷达》教学大纲,并委托大连海运学院无线电航海仪器教研室根据该大纲编写试用教材。

为避免与其他专业的《船用导航雷达》教材同名,本教材定名为《航海雷达》,供船舶驾驶专业使用,于1985年5月和1987年5月印刷两次。经交通部航海类各院校试用,1988年6月在上海召开了《航海雷达》教材讨论会,对本教材提出了修改意见,根据会上所提意见,经修改后决定正式出版。

按照教学大纲规定,本教材主要内容为雷达和自动雷达标绘仪(ARPA)的原理以及与使用有关的知识。学习原理是为正确使用服务,因此不对某一种具体设备的整机电路进行详细分析。根据课程分工,本教材还包括雷达定位的内容,但不包括雷达避碰和雷达导航的内容。

本教材共十一章,第八、十一两章由缪德刚教授执笔,其他各章由徐德兴副教授执笔,全书由方乃正教授审校。书中不足之处请使用本教材的各院校教师和同学以及其他读者提出宝贵意见。

编 者

1989年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 船用导航雷达发展概况	(1)
第二节 船用导航雷达简单框图及工作原理	(1)
第三节 雷达在航海上的应用	(4)
第二章 雷达电源设备	(5)
第一节 概述	(5)
第二节 中频逆变器	(6)
第三节 中频变流机组	(7)
第三章 发射机	(9)
第一节 雷达发射机的组成和技术指标	(9)
第二节 磁控管振荡器	(11)
第三节 脉冲调制器	(17)
第四节 高压自动延时电路	(24)
第五节 发射机调整及简单故障排除	(26)
第六节 发射机框图举例	(28)
第四章 波导与天线系统	(30)
第一节 波导与同轴电缆	(30)
第二节 船用雷达天线	(33)
第三节 雷达天线系统的组成及维护保养	(38)
第四节 天线系统电路举例	(40)
第五节 天线收发开关	(41)
第五章 接收机	(45)
第一节 雷达接收机的组成和主要技术指标	(45)
第二节 本机振荡器	(48)
第三节 混频器	(54)
第四节 中频放大器及接收机附属电路	(58)
第五节 接收机的调整及简单故障排除	(66)
第六节 接收机框图举例	(69)
第六章 显示器	(71)
第一节 雷达显像管及PPI显像原理	(71)
第二节 显示器框图	(74)
第三节 显示器主要电路原理	(75)
第四节 相对运动雷达中的三种显示方式	(92)

第五节 真运动雷达	(95)
第六节 显示器调整及简单故障排除	(99)
第七节 显示器框图举例	(105)
第七章 雷达操作和使用	(108)
第一节 船用雷达的附加装置	(108)
第二节 雷达整机方框图	(113)
第三节 雷达各按钮的作用及操作	(116)
第四节 雷达的一般操作步骤	(123)
第五节 雷达的维护保养工作	(125)
第六节 安装雷达的注意事项	(126)
第七节 雷达日志	(128)
第八章 雷达使用性能与技术指标	(131)
第一节 雷达的使用性能	(131)
第二节 雷达的技术指标	(137)
第九章 目标显示与假回波	(144)
第一节 大气对雷达波传播的影响	(144)
第二节 海面反射对雷达作用距离的影响	(147)
第三节 气象与海况的影响	(149)
第四节 目标特性的影响	(150)
第五节 盲区和阴影扇形的影响	(153)
第六节 操作技术的影响	(154)
第七节 假回波与干扰杂波	(155)
第十章 雷达定位	(159)
第一节 回波识别和目标辨认	(159)
第二节 目标的选择及距离和方位的测量	(161)
第三节 雷达定位方法	(162)
第四节 雷达反射器及雷达航标	(163)
第十一章 自动雷达标绘仪(ARPA)	(168)
第一节 自动雷达标绘仪的简单框图和原理	(169)
第二节 自动雷达标绘仪的功能	(173)
第三节 可能碰撞点与预测危险区	(193)
第四节 自动雷达标绘仪(ARPA)性能标准	(202)
第五节 影响 ARPA 性能和精度的因素	(206)
第六节 ARPA 的局限性	(214)
参考文献	(222)

第一章 绪 论

第一节 船用导航雷达发展概况

雷达最早出现在三十年代后期。早期的雷达只能发现和测量目标的距离,所以人们把它称为“Radio Detection and Ranging”(即无线电探测和测距)。取这几个英文字的开头字母就组成了Radar这一新词。中文取其音译为“雷达”。

由于雷达应用电磁波探测物标,它不受黑夜的限制,受雨雾等天气条件的限制也不大,而且作用距离较远,显示直观及使用方便,因此在第二次世界大战中得到了迅速发展。二次大战后,随着电子技术的迅速发展,雷达在理论上和技术上得到了不断的提高和发展,性能日趋完善,应用也越来越广泛。除了在军事上得到广泛应用外,在民用和科学研究方面,如航海、航空、港口和狭水道导航和交通管制、空中交通管制、气象观测、射电天文、地形测绘、卫星跟踪等也都广泛地使用了雷达。

船用导航雷达的发展也是很迅速的,特别是在电子计算机技术引入雷达后,它的性能更加完善,使用也更方便了。例如,各种配有自动雷达标绘装置的雷达,不仅能显示周围的船舶、岛屿、礁石、岸形等物标,随时读出所需物标的距离和方位,而且能显示出哪些船舶何时及在什么地点与本船有发生碰撞的危险;在判断出有碰撞危险后,不仅能发出音响或闪光警告,而且有的雷达还能给出最佳避让方案,等等。雷达的应用对保证船舶航行安全、加快船舶营运周期和减轻航海人员的劳动强度等都起了很大的作用。现在,雷达已经成为各类船舶必不可少的主要助航设备。国际海事组织(IMO)及很多国家已用公约或规范对各种船舶必须安装的雷达的数量及性能作了明确规定。

但是,由于部分航海人员没有全面了解雷达的性能,不能正确地分析、判断和运用雷达信息或不能正确地操作、使用雷达而导致发生海事的事情也是屡见不鲜的。为此,使用人员必须掌握雷达的基本工作原理、各组成部分的作用及它们的主要性能指标,进而了解雷达的使用性能和它的局限性;正确掌握各种开关调节方法与步骤;掌握分析、判断和运用雷达获得信息的能力;以及能进行日常的维护保养工作及更换主要元器件、排除一般性常见故障。这样,才能充分发挥雷达设备的长处,以确保航行安全。现在,IMO及一些国家都作了规定,船长及驾驶员必须接受雷达及ARPA等设备的实际训练并取得合格证书,而且对训练的内容也作了相应的规定。

第二节 船用导航雷达简单框图及工作原理

船用导航雷达都采用平面位置显示的脉冲雷达。它发射并接收脉冲式的电磁波,将物标回波按距离和方位用加强亮点的形式显示在荧光屏上,如图1-1所示。

一、雷达测距、测向原理

1. 测距原理

船用导航雷达测距原理与日常生活中用回声方法估测山崖的距离相类似。不同的是,雷达发出的不是声波而是超高频无线电脉冲;计时的工具不是秒表而是平面位置显示器。由于超高频无线电波在空间传播时基本上是等速直线传播(速度为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$, 即 $300 \text{m}/\mu\text{s}$)的,而且遇到物体后有良好的反射特性,因此,我们只要知道无线电波往返于雷达天线与物标之间的时间 Δt ,就可根据下式求出物标离天线的距离 S :

$$S = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

式中: c ——电磁波传播速度。

雷达就是用发射机产生超高频脉冲,用天线向外发射并接收由目标反射回来的脉冲波,由显示器计时、计算并显示物标距离的。

2. 测向原理

因为超高频无线电波在空间的传播基本上是直线的,因此,只要把天线做成定向天线,即只向一个方向发射,也只接收一个方向的回波,那么天线的方向就是物标的方向。如果天线旋转,依次向四周发射,则可探知周围所有的物标距离和方位了。

雷达是用同步传向系统把天线的瞬时位置随时传送给显示器,使物标回波按它的实际方位显示。

二、雷达的组成及简单工作原理

根据上述测距、测向原理,雷达的基本组成如图 1-2 所示,它由七个部分组成。

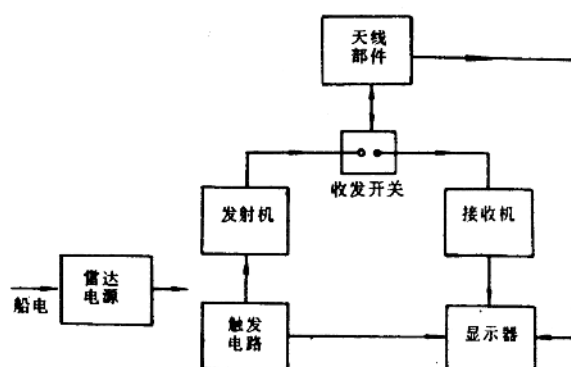


图 1-2 雷达的组成

1. 触发电路(定时电路)

触发电路是雷达的总指挥,发射机、接收机以及显示器都受它的控制。它每隔一定时间 T

(例如 $1000\mu\text{s}$) 发出一个很短的脉冲(即触发脉冲),一方面通知发射机向外发射,另一方面通知显示器开始计时(扫描)。所以,触发脉冲又叫定时脉冲或同步脉冲,而产生触发脉冲的电路——触发电路有时也叫定时电路、同步电路或触发脉冲产生器。该电路结构简单,一般都装在发射机里,也有少数是装在显示器里的。

2. 发射机

发射机的任务是在触发脉冲的控制下每隔一定时间产生一个宽度一定、功率较大的射频脉冲。

船用导航雷达发射脉冲的频率按规定可选用 $9375\text{MHz} \pm 50\text{MHz}$ (波长为 3cm 左右) 或 $3050\text{MHz} \pm 50\text{MHz}$ (波长为 10cm 左右)。前者属于 X 波段雷达,后者属于 S 波段雷达。发射脉冲的瞬时功率(峰值功率)在 $3 \sim 70\text{kW}$ (具体视雷达的用途而定)。发射脉冲的宽度(持续时间)一般为 $0.05 \sim 2.0\mu\text{s}$ 。这样大功率的超高频脉冲是用一种特殊的磁控管振荡器来产生的。

3. 天线

雷达天线是一种方向性很强的定向天线。它把发射机送来的电磁波聚成细束集中向一个方向辐射,同时也只能接收从这个方向反射回来的回波并把它送到接收机去。

天线由驱动马达带动顺时针向匀速转动。转速一般为 $18 \sim 25\text{r/min}$,少数也有 80r/min 的。由于电磁波的传播速度非常快,且雷达的探测距离又都在 60n mile 以内,所以,在天线旋转过程中,在每个瞬时位置,天线都能接收到从这个方向的物标所反射回来的回波。

天线系统通过方位同步传送系统把天线的位置随时准确地送给显示器。

4. 收发开关

船用雷达的发射与接收是共用一个天线进行的。这样,大功率发射脉冲就有可能进入接收机而烧坏接收机低压元件(混频晶体等),而微弱的回波脉冲也可能进入发射机而分掉一部分能量。为了防止发生这种现象,在发射机、接收机和天线之间设置了一个专用开关——收发开关。

收发开关能在发射机发射时关闭接收机入口,让发射脉冲集中送向天线向外发射而不致进入接收机;在发射结束时又能自动接通接收机通路而关闭发射机通路,保证微弱的回波能量集中送向接收机。

收发开关一般是由一定长度的波导及气体放电管或铁氧体环流器组成。它装在收发机内。

5. 接收机

由于从天线接收到的回波信号是十分微弱的,一般仅有几个微伏,而显示器要有几十伏的电压才能显示,因此,先要将回波信号放大近千万倍才行。要将一个频率近 10000MHz 的微弱信号放大如此大的倍数,一般的接收机是不行的,故雷达采用了超外差式接收机。它把回波信号先进行变频——变成中频(一般为 30MHz 、 60MHz 或 45MHz),再进行放大、检波变成视频脉冲信号,然后经过视频放大后送给显示器。

6. 显示器

船用导航雷达的显示器是一种平面位置显示器。它受触发脉冲控制开始计时(扫描)及计算,根据接收机送来的回波信号及天线送来的方位信号,把物标回波按它们的距离和方位显示在荧光屏上,如图 1-1。显示器还配有测量系统,可随时用来测量物标的距离和方位。

雷达各部分的波形及时间关系如图 1-3 所示。

7. 雷达电源设备

雷达需要稳定可靠的电源,同时为了防止雷达与其它高频用电设备之间的相互干扰及船舶低频电源对雷达的干扰,因此都采用独立的专用电源设备。这种电源设备把船用电源变成雷达所需的具有一定频率、一定电压及功率的专用电源。雷达电源的频率一般采用中频(400~2000Hz)。雷达电源设备有中频变流机组及中频逆变器两种。

一般说来,雷达有以上七个部分组成。在实际设备中,它们有各种组合方式。一般说来,触发电路、收发开关、发射机和接收机是装在一个机箱里的,称为收发机。所以常见的雷达设备有天线部件、收发机、显示器及电源等四个大部件。也有一些雷达,把收发机装在天线座里,还有的把中频逆变器分装在显示器和收发机里。具体情况可查有关说明书。

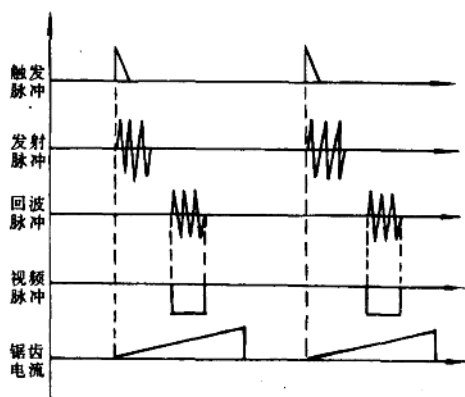


图 1-3 雷达各部分波形图

第三节 雷达在航海上的应用

由于雷达是采用超高频电磁波探测物标,因此,它受天气条件的影响较小,不论昼夜,天气好坏,都能直观、清晰地显示周围的环境状况。雷达还能随时测量各物标的方位、距离,而且精度较高,探测距离较远,操作方便。因此,雷达被广泛用于海上定位和导航。由于真运动雷达的发展,雷达也广泛应用于沿海及狭水道的导航。

电子技术的迅速发展,特别是电子计算机技术引入雷达,出现了性能越来越完善的 ARPA,使雷达在避碰中的应用得到了迅速发展。

由于显示技术和显示器件的不断发展,现在已出现了多种高亮度显示技术,特别是光栅扫描及彩色显示技术用于雷达显示器后,较好地解决了雷达的高亮度显示,为驾驶员提供更多更准确更形象的信息,使用也更方便了。

现在,数字化电子海图正在迅速发展并将日趋完善,雷达及其它导航仪器与之组合,将会更有效地提高航行安全程度。

在智能化的船舶综合导航系统中,雷达也是重要的传感器之一。此外,正在世界各地迅速发展的各种海上(港口)船舶交通管理系统中,高性能的港口雷达也是它的主要设备之一。

第二章 雷达电源设备

第一节 概 述

一、雷达为什么要用专用电源

雷达电源设备是提供适应雷达设备所需电源的一种专门设备。换句话说,雷达电源设备的作用是将各种船电变换成雷达设备所需的具有一定频率、一定电压和功率的电源。那么,雷达为什么要用这种专用电源而不直接使用船电呢?其理由是:

(1)船用雷达为避免低频电源的干扰,常把定时电路中的触发脉冲与雷达电源的频率同步;又为了减小雷达本机中的变压器和滤波电路的参数,进而缩小雷达的体积和重量,雷达电源常用中频电源,频率为 $400\sim 2000\text{Hz}$ 。但在现代各类船舶上,船电都由发电机供给,种类繁多。直流船电有低压、高压之分;交流船电有单相、三相之分,电压有 110V 、 220V 及 440V 等多种,频率也有 50Hz 和 60Hz 等。这就要用专用设备进行变换。

(2)各种高频用电设备可能通过公用电网产生相互干扰,因此,雷达要求用专用设备把雷达电源与船电“隔离”开来。

(3)雷达要求电源稳定可靠,而船电本身不能满足这一要求,所以要用专用设备提供这种电源。

二、雷达电源设备应具备的条件

1. 在船电变化 $\pm 20\%$ 或负载变化 $\pm 20\%$ 的情况下,要求输出电压的变化小于 $\pm 5\%$ 。
2. 保持中频频率稳定。
3. 电源设备中应设置各种保护措施,如短路保护、过压、过流保护等。
4. 操作简单、维护方便、使用寿命长。
5. 能适应海上工作环境,如温差大、湿度高、盐雾严重等特点。
6. 能 24h 连续工作。
7. 噪声和振动要小。
8. 电能转换效率高。
9. 体积小、重量轻、造价低。

以上这些只是对雷达电源设备的基本要求,对于具体的某个设备来说,都有详细的技术指标。

三、电源设备的种类及其特点

目前,船用雷达电源设备主要有两种:中频变流机组和中频逆变器。

中频变流机组也叫马达——发电机组。它主要由一台电动机及一台由它带动的发电机组成。这种变流机的特点是容量比较大,工作可靠,使用方便,经得住电流和电压的变动。但是它的电能转换效率低,工作时有振动和噪声,需经常维护,而且体积大,重量重等。

中频逆变器,简称逆变器。它是一种利用晶体管或可控硅等电子器件直接把船电变换成循

达所需的中频电源的设备。它是一种直流——交流或交流——直流——交流变换器。它的特点是换能效率高,噪声小,无振动,体积小,重量轻,使用方便,维护简单,制造也较容易。因此,现在越来越多的雷达已采用逆变器作电源设备。但是,逆变器的可靠性没有变流机好,调整及检修也较困难。

第二节 中频逆变器

一、组成及各部分作用

逆变器的组成形式很多,根据逆变器采用的电子器件不同可分为晶体管逆变器、可控硅逆变器、隧道二极管逆变器等,根据逆变器采用的电路不同又可分为单管逆变器、推挽逆变器和桥式逆变器等;根据输出交流电的相数也可分为单相逆变器和三相逆变器等。但其基本组成和原理可用图 2-1 表示。

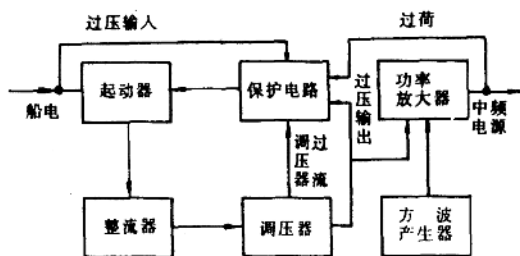


图 2-1 中频逆变器组成框图

起动机由起动机继电器及驱动电路组成,它受雷达显示器面板上的雷达电源开关控制,将船电送入整流器。另外,它也受保护电路的控制,当保护电路工作时能使它自动切断电源,停止逆变器的工作,保护逆变器及雷达本机。

整流器的作用是把交流船电整流成直流电后送给调压器。如果船电原来是直流电,则可直接送入调压器。

调压器实际上是直流调压器,或叫直流变换器。有两个作用:一是直流降压,二是稳压。它把整流器送来的较高的直流电变成较低的稳定的直流电。它常由直流调压器及稳压器组成。

方波产生器由一个基准振荡器及分频器组成。它产生一个频率与所需雷达中频电源频率相同的方波,并变换成两个幅度相等相位相反的对称方波送给功率放大器。

功率放大器是把方波产生器送来的一定频率的方波进行功率放大,再经中频变压器输出即为雷达所需的中频电源。输出电压的幅度与调压器输出有关,输出电源的频率与方波产生器输出方波的频率相同。

保护电路包括船电输入过压保护、调压器输出过压保护、调压器过流保护及逆变器过荷保护等。当发生上述之一的情况时,保护电路工作,切断船电输入,停止逆变器的工作,保护逆变器及雷达本机。

二、逆变器使用注意事项

(1)在检查、调整逆变器前,一定要仔细阅读说明书,看懂电路原理,了解测试方法、步骤及检查方法,切勿盲目行事。例如,有的逆变器是不能空载起动的,否则要烧坏管子。

(2) 逆变器是一个闭合控制环路, 且各部分还有小的控制环路, 如断开某一环路, 不仅会影响该部分电路工作, 而且还会影响整个逆变器的工作, 甚至损坏雷达本机。所以逆变器工作时, 不允许断开控制环路。

(3)检查逆变器时,一定要切断输入电源。

(4) 如要带电检查, 最好用示波器进行并要注意分清浮动零点及真正的零点(船电的零

点)。要注意,有的机器这两者之间较大的电位差,切不可短接,否则将损坏电源,甚至可能损坏雷达本机。检查应在规定的测试点上进行。

第三节 中频变流机组

一、组成及简单工作原理

图 2-2 是中频变流机组的基本组成框图。它主要由电动机、发电机、起动器及控制电路等部件组成。

电动机和发电机是同轴连接的,它是中频变流机组的主体。当船电通过起动器进入电动机后,电动机转动并带动发电机转动发出雷达所需的中频交流电。所以该机组是一种电能——机械能——电能的转换装置,效率显然比逆变器差。

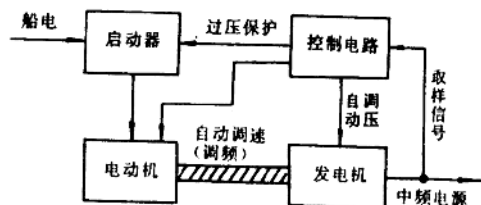


图 2-2 中频变流机组组成框图

电动机的种类随船电的不同有直流电动机和交流电动机之分。交流电动机又有单相、三相之分,而且供电电压也有不同。在订购雷达设备时应注明船电的种类、频率及电压等数值。

中频发电机采用感应子式发电机,它的结构与船电类型无关。它的定子和转子都开有齿和槽,转子上没有绕组,而在定子上绕有二到三组线圈,分别叫做主激磁绕组、副激磁绕组和输出绕组,有的发电机没有副激磁绕组。

起动器由保险丝(或过荷继电器)、启动继电器、指示灯(或电压、电流表)及降压电阻等组成。其作用是保证可靠地接通或断开船电。它一般由雷达显示器面板上的“雷达开关”控制,也受保护电路的控制。当发生过荷等情况时,保护电路工作,切断启动继电器电源,中断船电输入,保护中频电源及雷达本机。起动器的组成与结构随船电和雷达型号的不同而各不相同。

控制电路通常包括自动调压电路、过压或短路保护电路及自动转速(频率)控制电路等。厂家不同,控制电路的种类和型式也不同,有电控电路、磁控电路及机械控制电路等。电源部件的各种调整按钮都设在这里。一般在安装时进行必要的调整外,平时不必再行调整。

二、变流机使用注意事项

1. 直流电机应注意电压的正负极性,交流电机应注意电机的旋转方向是否正确。
2. 直流电机的调整部位较多,各控制电路之间相互间会有影响,调整时应特别注意。
3. 直流电机在运转中不准取出碳刷。
4. 中频发电机输出电压中含有大量谐波成分,波形介于正弦波及方波之间,普通万用表测出的电压值会偏高,应注意修正。

三、变流机的维护保养

变流机的型号不同,要求保养的项目不同,但一般说来有如下几项:

1. 交流电机

- (1)应经常保持马达间及本体的清洁、干燥,特别要防止海水、铁屑等杂物落入机内。
- (2)应经常检查各接线的接触是否牢固。
- (3)变流机运转时不应有异常声音。

(4)隔一定时间更换一次轴承油(有的要求时间长一些,有的要求时间短一些,有的则根本不要求更换),但是若发现油脂硬化或变色;或油脂上面有水珠或尘垢;或轴承过热时,应立即更换新油脂。更换油脂时,应先将旧油脂清除干净并用汽油将轴承洗净后再加入新油脂。油脂加到油室的三分之二即可,过多或过少都会使润滑不良。油脂型号应是说明书指定的规格。不同型号的油脂不能混用。

(5)要经常检查继电器触点,如有污垢或凹凸不平,要先用细砂纸打平,然后用酒精擦干净。

2. 直流电机

除了应做上述交流电机的各项外,还应做如下各项:

(1)应经常检查、清洁碳刷架、整流子及碳刷。清洁时可用软毛刷,然后用干净软布沾酒精或四氯化碳清洁上述部件。

(2)整流子或碳刷不平时,可用细砂纸按整流子弧度轻轻擦平,然后再用干净软布沾酒精或四氯化碳清洁。

(3)应按说明书要求检查碳刷长度,如不合要求应按指定规格更换。更换时应注意碳刷的弧度与整流子弧度要一致,并检查接触是否合适、均匀,通电试验时不应有太大的火花。

第三章 发 射 机

第一节 雷达发射机的组成和技术指标

一、发射机的组成框图及各部分的作用

船用导航雷达发射机的基本组成框图如图 3-1 所示。各级的波形时间关系如图 3-2 所示。

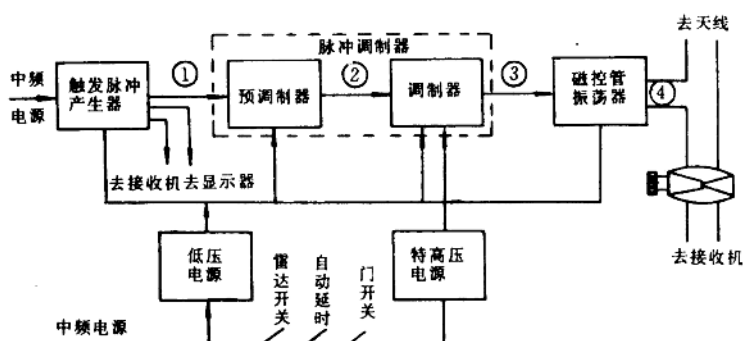


图 3-1 雷达发射机框图

1. 触发脉冲产生器

触发脉冲产生器的作用是每隔一定时间（即脉冲重复周期 T ）产生一个触发脉冲分别送到发射机、接收机和显示器，使它们同步工作。

它的形成电路一般很简单，是一个与电源同步（即脉冲重复频率与电源频率相同）的间歇振荡器。现在有些雷达为提高雷达的测距精度，采用了一种晶体高频振荡器作为整个雷达的时间基准。这时，触发脉冲将通过多次分频来获得。

2. 预调制器

预调制器的作用是每收到一个触发脉冲就产生一个具有一定宽度（ τ ）、一定幅度的矩形控制脉冲——预调制脉冲去控制调制器的工作。预调制脉冲的宽度决定着发射脉冲的宽度。因此，脉冲宽度的转换在这一级进行。

3. 调制器

调制器的作用是在预调制脉冲或触发脉冲的控制下产生一个具有一定宽度（与预调制脉冲宽度相同）、一定幅度（一般为 10000V 左右）的高压矩形脉冲——调制脉冲，去控制磁控管振荡器的工作。

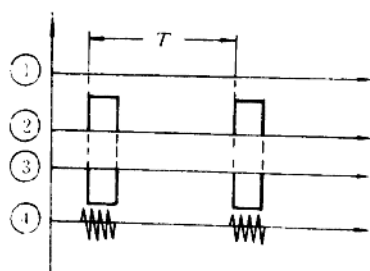


图 3-2 发射机各级波形图

船用导航雷达发射机的调制器通常有刚性调制器、软调制器、磁调制器和可控硅调制器等四种。调制器种类不同,对预调制器的要求也不同。

4. 磁控管振荡器

磁控管振荡器是一种被调制的大功率超高频振荡器,它在调制脉冲的作用下产生超高频振荡(射频脉冲),经波导送天线向外辐射。

5. 发射机电源

发射机电源分一般电源和特高压电源两部分,分别设有保险丝及指示灯。保险丝及指示灯一般都装在明显易见又便于拆装更换的地方。

高压电源部件为调制器提供特高压,一般由变压器、整流电路等组成。为安全起见,高压部件与调制器、磁控管振荡器等一起装在一个屏蔽盒内,外面标有醒目的“高压危险”字样。高压变压器的初级电源电路一般串有多个继电器触点,分别受雷达的“发射”开关、3min 自动延时电路及门开关等控制。有的设备还有自动保护电路控制的触点。

3min 自动延时电路的作用是保证磁控管在加高压前有 3~5min 的预热时间。

一般电源部件与接收机的低压电源装在一起,它为收发机提供除特高压外的所有交、直流电源,由变压器及各个整流滤波电路组成。

二、发射机主要技术指标

雷达发射机的性能,即它的各种技术指标决定着雷达的多种使用性能。发射机的技术指标主要有如下几项:

1. 工作波长 λ

所谓工作波长即磁控管振荡器产生的超高频脉冲的波长。后面将会讲到,在天线尺寸一定的情况下,波长愈短,天线的集束能力愈强,雷达发现远处弱目标的能力愈强,并且越有利于提高距离分辨力和方位分辨力。但是,当波长太短时,如短于 3cm 时,大气对电磁波的衰减以及云、雨对电磁波的反射和衰减将大大增加。

船用导航雷达的工作波段最常见的是表 3-1 所列的四种,其中尤以 3cm 及 10cm 为多数。

表 3-1 船用导航雷达的工作波段

波段代号	中心波长	相应的频率范围
S	10cm	2000~4000MHz
C	5cm	4000~8200MHz
X	3cm	8200~12400MHz
K _a	8mm	26500~40000MHz

2. 发射功率 P

脉冲雷达发射机的输出功率分为峰值功率 P_i 及平均功率 P_m 。峰值功率指脉冲期间射频振荡的平均功率。平均功率是指脉冲重复周期内输出功率的平均值。它们之间的关系为:

$$P_m = P_i \cdot \frac{\tau}{T}$$

式中: τ ——脉冲宽度;

T ——脉冲重复周期。

在雷达说明书中一般给出的是雷达的峰值功率。

雷达的发射功率越大,它的作用距离也越远。但是,海浪杂波、雨雪杂波以及天线旁瓣杂波的干扰也将增加,而且要选用大功率元器件,电路和结构复杂,工作可靠性降低。船用导航雷达的发射功率(峰值功率)一般在 100kW 以下,大部分为 3~70kW 之间。

3. 脉冲宽度 τ

脉冲宽度即雷达发射脉冲的持续时间。脉冲宽度越宽,发射脉冲的能量越大,雷达的作用距离越远。而脉冲宽度越窄,雷达的距离分辨力高,最小作用距离小,而且海浪杂波和雨雪杂波也小。一般为了兼顾雷达的作用距离和距离分辨力,通常采用两到三种脉冲宽度,并随量程作相应变换。脉冲宽度一般在 $0.05 \sim 2.0 \mu\text{s}$ 之间。

4. 脉冲重复频率 f_r

脉冲重复频率即雷达每秒钟发射的脉冲数。脉冲重复周期 T 即相邻两个发射脉冲间的时间间隔,显然, $T=1/f_r$ 。增加脉冲重复频率可使脉冲积累数增加,接收机门限功率减小,从而增加雷达的作用距离。但是,重复频率也不能太高,即脉冲重复周期必须大于所选量程的扫描时间,而且要有足够余量以保证有关电路有足够的恢复时间。船用导航雷达的脉冲重复频率一般在 $500 \sim 4000 \text{Hz}$ 之间,而且随着脉冲宽度的变换也作相应变换。即宽脉冲时用低重复频率,窄脉冲时用高重复频率。

5. 脉冲波形

这里指的是发射脉冲的波形,即发射脉冲的包络形状。一般说来,波形越接近矩形越好。因为在相同的脉冲宽度下,越接近矩形,能量越大,作用距离就越远,同时前后沿越陡,测距精度和距离分辨力越高;矩形脉冲顶部越平坦,脉冲持续期中的发射功率和频率越稳定。通常脉冲前沿上升时间 t_r 为脉冲宽度的 $0.1 \sim 0.2$,后沿下降时间 t_f 为脉冲宽度的 $0.2 \sim 0.4$,顶部波动值为 $2 \sim 5\%$ 。

6. 发射脉冲频谱

发射脉冲频谱即是组成射频脉冲信号的所有频率成分的能量分布。矩形射频脉冲的理想频谱如图 3-3 所示。由图可以看出大部分发射能量集中在 $f_0 \pm 1/\tau$ 的频带内。为保持原来的脉冲波形,接收机通频带至少不能小于 $2/\tau$ 。对发射脉冲频谱通常要求其谱线稳定、对称;旁瓣的最大值不大于主瓣最大值的 25%。

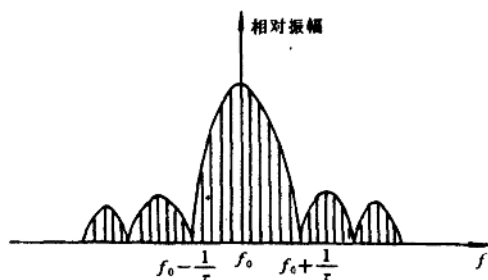


图 3-3 矩形射频脉冲的理想频谱

7. 总效率

发射机总效率是指发射机的输出功率与它的输入总功率之比。效率越高,雷达耗电越小,元器件的寿命越长,越不容易发生故障,即雷达的工作可靠性越高。现在雷达发射机的总效率一般低于 30%。

第二节 磁控管振荡器

上一节讲到磁控管振荡器的作用是在调制脉冲的控制下产生超高频脉冲。其频率在