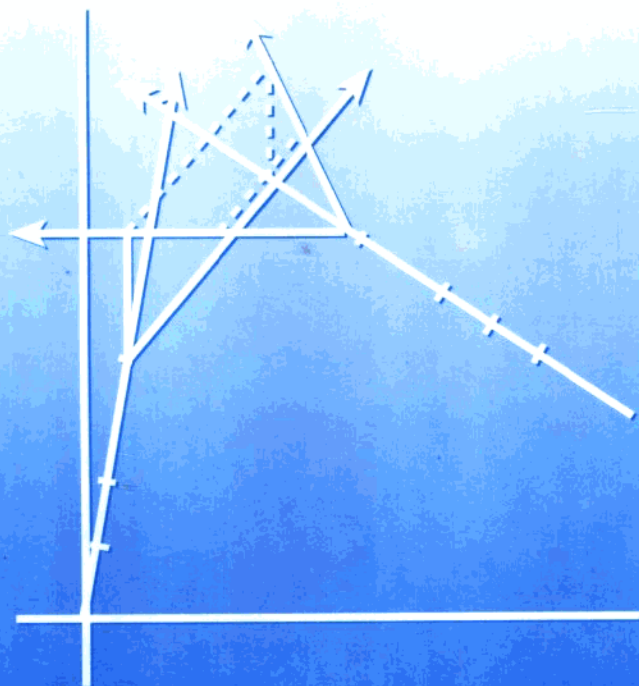


雷达观测与标绘

孙文强 徐德兴 夏国忠 编著



大连海事大学出版社

雷达观测与标绘

孙文强 徐德兴 夏国忠 编著

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

雷达观测与标绘/孙文强等编著. 大连:大连海事大学出版社,1998.10
ISBN 7-5632-1232-9

I. 雷… II. 孙… III. ①雷达-测量 ②雷达-绘图 IV. TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 24876 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1998 年 10 月第 1 版

1998 年 10 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:11.25

字数:281 千字

印数:1—2000 册

责任编辑:史洪源

封面设计:王 艳

责任校对:黎 为

版式设计:王瑞国

定价:16.50 元

内 容 提 要

本书共分两篇十四章,第一篇主要讲述了雷达的组成,各部分的作用、操作使用方法、使用性能及影响雷达探测性能和观测的各种因素;第二篇主要讲述了雷达标绘的基本作图方法、特殊情况处理及有关实验指导。另外,为方便读者,书中例题均以标准比例尺绘图,并且附有习题参考答案。

本书可作为高等学校船舶驾驶专业本科教材及培训教材,也可作为船舶驾驶人员的参考书。

前 言

《雷达观测与标绘》是以 1995 年修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》和中华人民共和国港务监督局颁布的《中华人民共和国船员雷达操作与模拟器专业培训、考试和发证办法》的有关规定及决议为依据,并在总结了大连海事大学十年来从事此项专业训练经验的基础上编著完成的。

编者在系统讲述理论知识的基础上,更加侧重实践,具有较强的针对性,深广度适宜,具有较好的适用性与系统性。书中有例题、思考题和练习题,供读者参考。

本书由徐德兴(第一篇——雷达观测),孙文强和夏国忠(第二篇——雷达标绘)编著,王逢辰审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 6 月

目 录

第一篇 雷达观测

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 雷达测距、测方位原理	1
第三节 雷达的基本组成及工作原理	2
本章复习题	4
第二章 船用导航雷达设备	5
第一节 中频电源设备	5
第二节 雷达发射机	8
第三节 微波传输及雷达天线系统	13
第四节 雷达接收机	21
第五节 收发开关	28
第六节 雷达显示器	30
第七节 真运动装置	43
第八节 船用雷达整机方框图	45
本章复习题	48
第三章 船用雷达的附属装置	50
第一节 双雷达系统中的互换装置	50
第二节 雷达性能监视器	51
第三节 反射式作图器	56
本章复习题	56
第四章 雷达的操作使用	58
第一节 各控钮的作用及操作方法	58
第二节 雷达的一般操作步骤	64
第三节 相对运动雷达中的三种显示方式	66
第四节 真运动显示方式	69
第五节 输入航向、速度误差对显示方式的影响	71
第六节 安装雷达的注意事项	74
第七节 雷达日志	75
本章复习题	77

第五章 雷达使用性能	79
本章复习题	86
第六章 影响雷达图像显示的因素	88
第一节 雷达的技术指标	88
第二节 大气对雷达波传播的影响	92
第三节 海面镜面反射对雷达作用距离的影响	95
第四节 气象与海况的影响	96
第五节 目标特性的影响	98
第六节 盲区和阴影扇形的影响	101
第七节 操作技术的影响	102
第八节 假回波与干扰杂波	103
本章复习题	106
第七章 雷达定位与导航	107
第一节 回波识别和目标辨认	107
第二节 目标的选择及距离和方位的测量	109
第三节 雷达定位方法	110
第四节 雷达导航	111
本章复习题	113
第八章 航海雷达的辅助装置	115
第一节 雷达反射器	115
第二节 雷达方位信标	116
第三节 雷达应答标(雷康)	117
第四节 其他辅助装置	119
第五节 港口导航雷达站	119
本章复习题	120

第二篇 雷达标绘

第一章 绪论	121
第一节 船舶的真运动与相对运动	121
第二节 运动模式的选择	122
第二章 图解法求他船运动要素和安全避让措施	124
第一节 图解法求他船的运动要素	124
第二节 图解法求安全避让措施	127
第三节 转向与变速效果	140
第三章 雷达协助避让中的常用估算方法	143
第一节 雷达避碰转向示意图	143
第二节 方位距离变化估算法	144
第三节 转向避让估算法	145
第四节 减速避让估算法	146

第四章 转向不变线及其应用.....	147
第一节 转向不变线.....	147
第二节 避让目标分析.....	149
第五章 国际海上避碰规则与雷达避让.....	152
第一节 雷达与瞭望.....	152
第二节 雷达与安全航速.....	153
第三节 雷达与碰撞危险.....	154
第四节 雷达与避让行动.....	156
第六章 模拟器训练指导.....	158
实验一 标绘基本训练.....	158
实验二 检验雷达避碰转向示意图.....	158
实验三 开阔水域转向避让.....	159
实验四 查核避让效果及恢复原航向.....	159
实验五 开阔水域转向与变速综合避让.....	160
实验六 受限水域内的综合避让.....	160
实验七 紧迫局面情况下的紧急避让.....	161
附件一 雷达避碰习题.....	162
附件二 船员雷达观测与标绘和雷达模拟器专业培训纲要.....	169

第一篇 雷达观测

第一章 绪 论

第一节 概 述

“雷达”是由“Radio Detection and Ranging”中几个英文字头组成的新词“Radar”的译音,意即无线电探测和测距。

雷达出现于第二次世界大战前夕,40年代后期开始用于航海。经过半个世纪的发展,雷达技术与自动控制和计算机技术的结合,雷达的性能越来越完善,应用越来越广泛。现在,无论在军事、民用和科学研究等各方面,都广泛地使用了雷达。

因为雷达作用距离远,可提供的数据多、精度高,显示直观和使用方便,而且不受黑夜的限制,受雨雾等的气象条件的限制也不大,所以雷达已成为船舶安全航行必不可少的主要助航设备。国际海事组织(IMO)和许多国家对各种船舶必须安装的雷达数量和性能要求作了明确规定。但是,船用雷达在性能上还有很多局限性。比如:它仅能显示本船周围水面上的物标相对于本船的平面位置,不能显示水下的深度和水面上的高度,也不能显示物标背后的情况;显示的图像不同于海图上的形状,也不同于人眼看到的形状,更不是物标的实际形状;显示屏上不仅有真实物标的回波,还有假回波和干扰回波,雷达对此并无识别能力;雷达不能记忆和预测物标的运动数据,不能直接给出导航和避碰所需的数据;雷达给出的数据尚有一定误差;等等。驾驶员必须掌握船用雷达的构成、基本原理和性能,并能正确操作和运用,以充分发挥它的作用,同时,应清楚地掌握它的误差和了解它的局限性,避免盲目依靠和信赖,防止海事的发生。IMO及许多国家都规定,船长和船舶驾驶员必须接受雷达及ARPA设备的实际训练并取得证书,并对训练的内容也作了相应的规定。

第二节 雷达测距、测方位原理

一、测距原理

雷达的测距是利用了超高频无线电波在空间传播时具有等速、直线传播和遇到的物体有良好反射特性来实现的。如图1-1-1左所示,如果雷达脉冲波离开天线的时间为 t_1 ,而经物标反射回到天线的时间为 t_2 ,则可据公式(1-1-1)求出物标离天线的距离 S :

$$S = \frac{C}{2}(t_2 - t_1) = \frac{C}{2} \cdot \Delta t \quad (1-1-1)$$

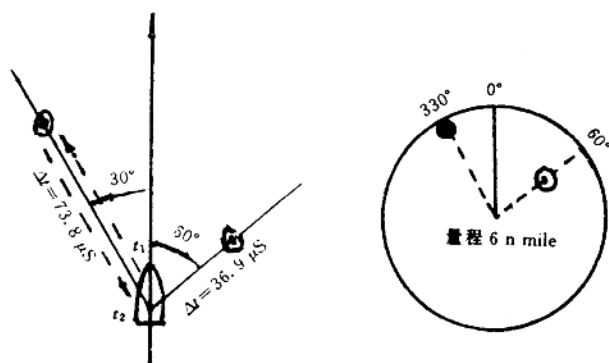


图 1-1-1 雷达测距原理

式中: $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ 为电磁波在空间的传播速度 ($1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{s}$)

$\Delta t = t_2 - t_1$ 为电磁波在天线与物标间的往返时间。比如, $\Delta t = 1 \mu\text{s}, S = 150 \text{ m}$;

$\Delta t = 36.9 \mu\text{s}, S = 3 \text{ n mile}$; $\Delta t = 73.8 \mu\text{s}, S = 6 \text{ n mile}$ 。

在实际船用雷达中,用发射机产生超高频无线电脉冲波,用天线发射和接收,用显示器计时、计算并显示物标的距离,并用触发电路使它们同时工作。

二、测方位原理

因为超高频无线电波在空间的传播是直线的,而且遇到物体有良好的反射特性,所以,只要把天线做成定向天线,即只向一个方向发射,也只接收这个方向的回波,那么,天线所指的方向就是物标的方向。如果天线旋转,依次向四周发射与接收,当在某个方向收到物标回波时,只需记下此时天线的方向就可知道物标的方向了。

在实际雷达中,由天线方位同步传送(方位扫描)系统把天线的瞬时位置随时准确地送给显示器,使物标回波按它的实际方位显示在荧光屏上,如图 1-1-1 右所示。

第三节 雷达的基本组成及工作原理

一、基本组成及各部分作用

雷达的型号很多,但基本组成框图均可用图 1-1-2 表示。各部分作用及相互关系简述如下:

1. 触发电路(Trigger; Timer)

触发电路又称触发脉冲产生器、定时器或定时电路等。它每隔一定时间(例如 $1000 \mu\text{s}$)产生一个作用时间很短的尖脉冲(触发脉冲,如图 1-1-3 a)分别送到发射机,接收机和显示器,使它们同步工作。它的电路结构简单,一般均装在发射机里,现在也有装在显示器里的。

2. 发射机(Transmitter)

发射机的任务是在触发脉冲的控制下产生一个具有一定宽度($0.05 \sim 2 \mu\text{s}$)的大功率($3 \sim 75 \text{ kW}$)超高频脉冲信号,即发射脉冲(或称射频脉冲),如图 1-1-3 b。射频脉冲经波导送往天

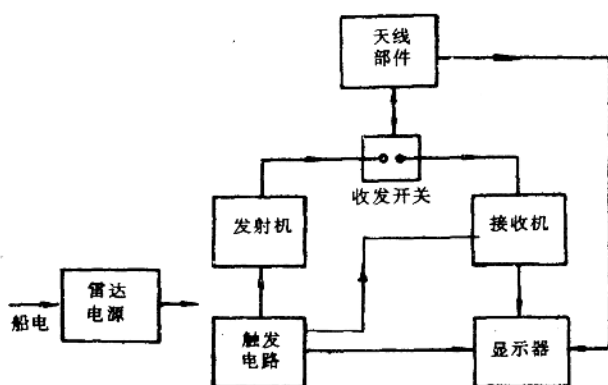


图 1-1-2 船用雷达基本组成框图

线向外发射。

3. 天线(Scanner; Antenna; Aerial)

雷达天线是一种方向性很强的天线。它把发射机送来的发射脉冲的能量聚成细束集中朝一个方向发射出去,同时,也只接收从该方向物标反射回来的回波,再经波导送入接收机。雷达天线由驱动电机带动按顺时针方向(从空中向下看)匀速转动,转速一般为 $15 \sim 30 \text{ r/min}$ 。天线系统还向显示器发出船首位置信号和天线偏离船首方向的角位置信号。由于电磁波在空间中传播和经过物标的反射,强度大大减弱,其回波的波形如图 1-1-3c。

4. 接收机(Receiver)

从天线送来的超高频回波信号十分微弱,一般仅有几个微伏(10^{-6} V)的幅度,而显示器显示需要约几十伏幅度的视频信号。接收机的任务就是把天线送来的微弱超高频信号进行处理变成显示器可以显示的视频回波信号(如图 1-1-3d)。

5. 收发开关(T-R switch; T-R cell)

在船用导航雷达中,发射与接收是共用一个天线进行的,天线与收发机间用一根微波传输线相连。收发开关的作用是在发射时自动关闭接收机入口,让大功率发射脉冲只送到天线向外辐射而不进入接收机,以防损坏接收机;而在发射结束时,能自动接通接收机通路让微弱的回波信号顺利进入接收机,又关断发射机通路,防止回波信号能量的流失。

6. 显示器(Display; Indicator)

船用导航雷达的显示器是一种平面位置显示器(即 PPI)。它在触发脉冲的控制下产生锯齿电流(如图 1-1-3e),使亮点从荧光屏中心径向匀速向边缘移动而形成亮线(即距离扫描线),用来计时、计算并显示物标回波的距离,同时,这条扫描线在方位同步传送(方位扫描)

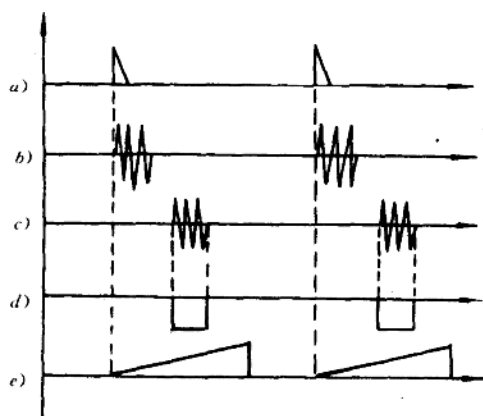


图 1-1-3 雷达各部分波形时间关系

系统作用下与天线同步旋转。这样,显示器根据接收机送来的回波信号、天线送来的方位信号将物标回波显示在物标所在的方位和距离上。此外,显示器还配有测量物标方位、距离的装置。

7. 雷达电源设备(Power Supply)

电源设备的作用是把各种船电变换成雷达所需的具有一定频率、功率和电压的专用电源。考虑了各种因素因雷达采用中频电源供电,频率一般在 $400\sim 2\,000\text{ Hz}$ 之间。

二、三单元雷达和二单元雷达

船用导航雷达由以上七个基本部分组成。在实际设备中,有各种组合方式。一般说来,触发电路、发射机、接收机和收发开关装在一个机箱里,称为收发机(Transceiver)。其余三个部分各自一个独立机箱。常见的雷达设备有天线单元、收发机单元、显示器单元及电源单元,这种雷达常称为三单元雷达。也有些雷达,把收发机装在天线底座中(装在桅顶上),合称为天线收发机单元,则雷达设备由天线收发机单元和显示器单元构成,这种雷达称为二单元雷达。

本章复习题

1. 试述船用导航雷达测距、测方位原理。
2. 试画出船用雷达的基本组成框图,并说明各部分的作用。
3. 什么样的雷达称三单元或二单元雷达?
4. 雷达有哪些局限性?

第二章 船用导航雷达设备

第一节 中频电源设备

一、雷达采用专用中频电源的原因

1. 为避免低频电源干扰和缩小雷达中频变压器、电感线圈等元器件的体积、重量,要用中频频率作电源频率。因为船电种类较多,电压、频率不一,所以要用专业电源进行变换。

2. 为防止与船上其它各种高频用电设备通过船电网产生相互干扰,要用专用电源设备进行“隔离”。

3. 雷达要求稳定、可靠的电源,而船电负载多且变化大,电压不稳定,所以要用专用的具有自动稳压及保护作用的电源设备提供。

二、对雷达电源的主要技术要求

1. 输出电压要稳定,即要求在船电变化 $\pm 20\%$ 或负载变化 $\pm 20\%$ 的情况下,保持输出的中频电压变化小于 $\pm 5\%$ 。

2. 要保持中频频率稳定。

3. 要有短路、过流、过压等各种保护措施。

4. 操作、维护简便,使用可靠、寿命长。

5. 能适应 24h 长时间连续工作。

6. 能适应海上温差大,湿度高等工作环境。

7. 噪声和振动要小,换能效率要高。

8. 体积小,重量轻,价格便宜。

上述属基本要求,对具体某一雷达电源而言,均有详细的技术指标。

三、种类和特点

目前,船用雷达电源设备有两类:中频逆变器和中频变流机。

1. 中频变流机组(Motor-Generator)

1) 组成及各部分作用

中频变流机组的组成方框图如图 1-2-1 所示。它主要由电动机、发电机、起动器及控制电路等组成。

电动机——发电机组:由同轴连接的电动机和中频发电机组成,它是变流机组的主体。当船电通过起动器进入电动机后,电动机转动并带动中频发电机转动发出雷达所需的中频交流电。由于该机组是一种电能—机械能—电能的转换装置,故其效率比逆变器低。

为适应各种船电的实际要求,电动机的输入电源类型也是多种多样的,订购雷达时应说明船电的种类(如交、直流、频率及电压值等)。

起动器:由保险丝、起动继电器及起动降压电阻等组成。其作用是保证可靠接通或断开电源,而且在连接电源时保证电动机实现分步起动。当发生过流、过压或短路情况时保证自动切

断船电。

控制电路:包括自动调压电路、自动调速(调频)电路、过压、过流、短路保护电路等控制电路,以保证中频变流机组输出的电压和频率稳定,并在发生过压、过流或短路时,雷达电源和其它单元得到保护。由于交流电动机转速较稳定,一般不设自动调速电路。

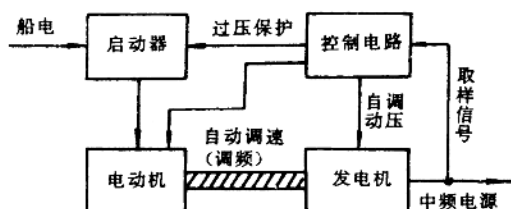


图 1-2-1 中频变流机组组成框图

2) 变流机使用注意事项

(1) 直流电机应注意输入电压的正负极性,交流电机应注意旋转方向是否正确。

(2) 直流电机调整部位多,各控制电路之间相互会有影响,调整时应特别注意。

(3) 直流电机在运转中不准取出碳刷。

3) 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。但一般有如下几项:

(1) 应经常清洁,防止潮气、灰尘及铁屑等侵入机内。

(2) 听到不正常的运转声音,应立即停机检查。

(3) 保证良好的通风,保持环境温度在 $-20^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

(4) 按说明书规定的要求加注轴承润滑油。但如果发现油脂硬化或颜色变暗,或油脂上积有水珠或尘垢,或轴承过热等现象时应立即更换油脂。注意:新油脂加到油室的三分之二即可,而且切忌将两种不同型号的油脂混用。

(5) 直流电机应定期(每月)用干燥软布清洁整流子,保持整流子的洁净、光滑。碳刷长度短于13 mm(或原长度的三分之二)时应予更换。

2. 中频逆变器(Inverter)

1) 组成及各部分作用

逆变器形式很多,但其基本组成如图 1-2-2 所示。

起动器:由起动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,将船电接入整流器。另外,也受保护电路的控制,当发生过压、过流等情况时,保护电路自动切断电源,停止逆变器的工作,保护逆变器及雷达本机。

整流器:把交流船电整流成直流电后送调压器,如果船电原来就是直流电,则可直接通过。

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

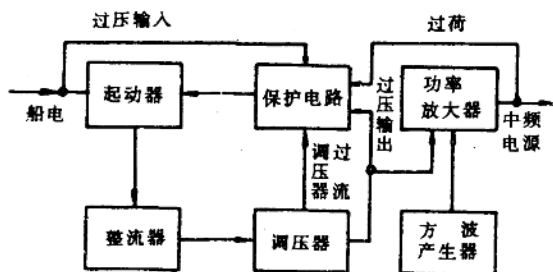


图 1-2-2 中频逆变器组成框图

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:把方波产生器送来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的方波频率相同。

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,保护电路自动切断船电输入,停止逆变器的工作,保护逆变器及雷达本机。

在实际的中频逆变器电路中,在船电输入端,常接有输入滤波器,以滤除高频成分,防止其它高频设备的干扰。此外,在输入、输出端还常接入保险丝,以在逆变器或其负载发生过流而保护电路又失效时起保护作用。

2)逆变器使用注意事项

(1)在检测、调整逆变器前,一定要细读说明书,看懂电路原理,了解调试步骤和检查方法,切勿盲目行事。

(2)逆变器是一个闭合环路,且各部分还有小的控制环路,不得随意切断某一环路,否则容易损坏逆变器,甚至损坏雷达本机。

(3)检测逆变器时应切断输入电源。若要带电检查,最好使用示波器,并注意分清逆变器中的浮动零电位与机壳零电位,二者严禁短接,否则会损坏逆变器。测试应在规定的测试点上进行。

3)工作状态的判断

逆变器正常工作时,一般能听到清晰均匀的振荡声,输出正确的电压值和频率值。如果逆变器发出时断时续的叫声,则说明逆变器有过荷现象,工作不正常,应关机检查。

三、两类中频电源设备的特点比较

两种电源设备的特点如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 两种雷达电源特点比较表

比较项目		中频逆变器	中频变流机
1.	电能转换效率	高	低
2.	抗过载能力	低	高
3.	可靠性	较高	高
4.	噪声与振动	甚小	严重
5.	体积、重量	小、轻	大、重
6.	维护	方便	麻烦
7.	检修	难	方便
8.	造价	低	高

从表 1-2-1 中可以看出,逆变器优于变流机组,故现在船用雷达中,均已采用逆变器作电源设备。

第二节 雷达发射机

一、组成及各部分作用

雷达发射机由脉冲调制器(包括预调制器和调制器)、磁控管振荡器和电源部件(包括低压电源及特高电源)等部分组成。其组成框图如图 1-2-3 所示。

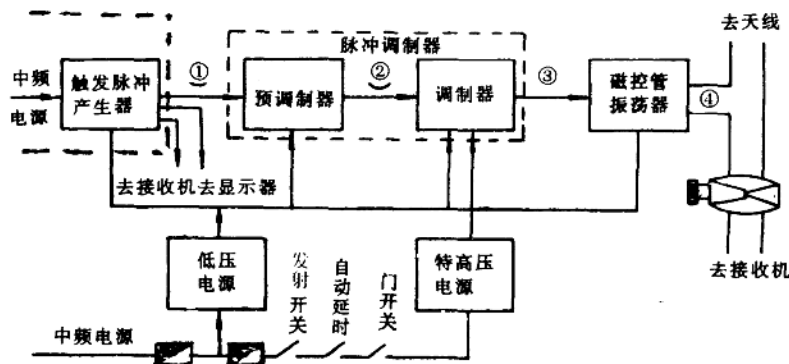


图 1-2-3 雷达发射机组成框图

1. 预调制器(Pre-Modulator)

在触发脉冲控制下,预调制器产生一个具有一定宽度、一定幅度的正极性矩形脉冲(预调制脉冲)去控制调制器的工作。调制器类型不同,对预调制脉冲的要求也不同。

2. 调制器(Modulator)

调制器的作用是在预调制脉冲或触发脉冲的作用下产生一个具有一定宽度、一定幅度(约 10^4V)的负极性高压矩形脉冲(调制脉冲)加到磁控管的阴极。

3. 磁控管振荡器(Magnetron Oscillator)

磁控管振荡器是一种被调大功率超高频振荡器,它在调制脉冲的控制下产生宽度与调制脉冲相同的大功率超高频振荡脉冲(射频脉冲)经波导送天线向外发射。各级波形时间关系如图 1-2-4 所示。

4. 发射机电源(Power Supply)

发射机电源提供发射机所需的各种交直流电源及调制器、磁控管工作所需的特高压电源,分别设有保险丝及指示灯。

低压电源与接收机电源装在一起,产生除特高压外的其他各种交直流电源,由变压器及各种整流滤波电路组成。

特高压部件与调制器、磁控管振荡器一起装在一个标有醒目的“高压危险”(DANGER! HIGH VOLTAGE)字样的屏蔽盒(罩)内,以引起使用维护人员的注意。高压电源的输入电路中一般都有几个继电器触点控制,如图 1-2-3 中所示。中频电源经过收发机总保险丝、高压保险丝、雷达高压(发射)开关控制的触点、高压自动延时电路控制的触点及门开关控制的触点才

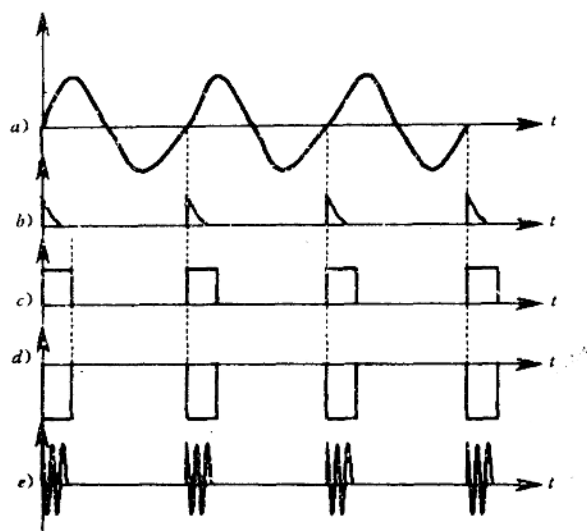


图 1-2-4 发射机各级波形图

a) 中频电源; b) 触发脉冲; c) 预调制脉冲; d) 调制脉冲; e) 发射脉冲

送到高压变压器的初级绕组, 以实现对人、对雷达的安全保护。

门开关是保护人身安全的。当打开发射机盖板时自动切断高压变压器输入电路, 中止高压电源的输出。

高压自动延时电路的作用是保证磁控管阴极有足够的预热时间, 即在雷达预备后一定时间 (3~5 min 左右) 才接通此触点开关, 高压变压器初级电源才有可能接入。一般, 此触点闭合后, “预备” 指示灯发亮。

二、发射机主要技术指标

1. 工作波长 λ (Wave Length)

发射机的工作波长就是磁控管振荡器产生的超高频脉冲波的波长。商船雷达的工作波长允许范围是: S 波段: 7.5~15 cm, X 波段: 2.4~3.75 cm。与之对应的工作频率范围是: S 波段: 2 000~4 000 MHz, X 波段: 8 000~12 500 MHz。目前船用导航雷达使用的频率范围是: S 波段: 2 900~3 100 MHz, X 波段: 9 300~9 500 MHz。

2. 脉冲宽度 (Pulse Length; Pulse Width)

脉冲宽度是指脉冲的持续时间, 一般用 τ 表示。在船用雷达中常用 μs (微秒) 作单位。船用雷达中, 考虑了各种要求, τ 一般选在 0.05~2 μs 之内。

3. 发射功率 (Transmitted Power)

发射功率可分为峰值功率 (Peak Power) P_k 和平均功率 (Average Power) P_m 。峰值功率是指在脉冲宽度内的射频振荡的平均功率, 一般较大。船用雷达的峰值功率在 3~75 kW 之内。平均功率是指在脉冲重复周期内输出功率的平均值, 一般数值很小。平均功率与峰值功率的关系为:

$$P_m = P_k \cdot \frac{\tau}{T} \quad (1-2-1)$$