

LEIDA GUANCE YU BIAOHUI

雷达观测与标绘

孙文强 成川 杨林家 卜仁祥 编



大连海事大学出版社

雷达观测与标绘

孙文强 成 川 杨林家 卜仁祥 编
何 欣 审

大连海事大学出版社

© 孙文强等 2005

图书在版编目(CIP)数据

雷达观测与标绘 / 孙文强等编. —大连: 大连海事大学出版社, 2005.12
ISBN 7-5632-1821-1

I. 雷… II. 孙… III. 船用雷达: 测绘雷达—高等学校—教材 IV. NT959.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 124006 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

普兰店市第一印刷厂印装

大连海事大学出版社发行

2005 年 11 月第 1 版

2005 年 11 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 10

字数: 248 千字

印数: 1~1000 册

责任编辑: 史洪源 樊铁成

版式设计: 海 韵

封面设计: 王 艳

责任校对: 阴 洁

定价: 15.00 元

内容提要

本书共分为十一章,第一章为绪论,主要讲述雷达观测与标绘的重要性及相关要求;第二章主要讲述雷达的基本工作原理;第三章至第五章主要讲述雷达的使用与维护;第六章至第十一章主要介绍了雷达标绘的基本理论与避碰实际应用方法以及有关实操评估的实验指导。

为方便读者理解,书中例题计算结果均根据标准比例尺绘图求出。此外,为方便模拟器实操实验,另附有模拟器实操记录、训练计划及评估标准。

本书可作为高等学校航海技术专业教材以及船员培训教材,也可作为船舶驾驶人员的实用参考书。

前 言

本书是以 1995 年修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》和中华人民共和国海事局颁布的《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,参考国际海事组织(IMO)示范培训课程,并在总结了大连海事大学多年的教学和专业培训经验的基础上编写完成的。

编者在系统讲述理论知识的基础上,更加侧重实践环节,具有较强的针对性,深广度适宜,具有较强的适用性。

本教材由孙文强、成川、杨林家、卜仁祥编,何欣审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 5 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 雷达基本工作原理	(3)
第一节 雷达测距、测方位基本原理	(3)
第二节 雷达的基本组成	(4)
第三节 雷达电源	(7)
第四节 触发电路	(8)
第五节 雷达发射机	(8)
第六节 微波传输及雷达天线系统	(12)
第七节 雷达接收机	(17)
第八节 收发开关	(21)
第九节 雷达显示器	(22)
第十节 雷达整机框图	(29)
第十一节 雷达附属装置	(31)
第三章 雷达观测影响因素	(36)
第一节 雷达使用性能及其影响因素	(36)
第二节 影响雷达回波正常观测的因素	(45)
第四章 雷达操作使用及维护	(53)
第一节 雷达的显示方式	(53)
第二节 雷达控钮的作用及操作方法	(57)
第三节 雷达的一般操作步骤	(63)
第四节 雷达的维护保养	(65)
第五节 雷达状态判断与调整	(67)
第六节 雷达的安装及验收	(70)
第五章 雷达定位与导航	(75)
第一节 雷达定位	(75)
第二节 雷达导航	(79)
第三节 辅助设施	(80)
第六章 雷达标绘基础知识	(85)
第一节 常用术语及一般定义	(85)
第二节 船舶真运动与相对运动	(86)
第三节 船舶相对运动与雷达的显示方式	(88)
第四节 雷达标绘工具	(89)
第七章 雷达标绘方法	(93)
第一节 相对运动作图基本原理	(93)
第二节 相对运动作图具体方法	(95)

第三节	真运动作图法·····	(104)
第八章	转向不变线及避让效果分析·····	(106)
第一节	转向不变线及其应用·····	(106)
第二节	避让效果分析·····	(109)
第九章	雷达避碰常用估算方法·····	(115)
第一节	雷达转向避碰示意图·····	(115)
第二节	DCPA 估算方法·····	(116)
第十章	雷达标绘与国际规则·····	(119)
第一节	雷达标绘与正规瞭望·····	(119)
第二节	雷达标绘与安全航速·····	(120)
第三节	雷达标绘与碰撞危险·····	(123)
第四节	雷达标绘与避让行动·····	(126)
第五节	雷达标绘与能见度不良·····	(127)
第六节	运用雷达协助避碰·····	(131)
第十一章	雷达标绘模拟器实验指导·····	(134)
第一节	雷达标绘模拟器的组成·····	(134)
第二节	雷达模拟器实验指导·····	(135)

第一章 绪 论

雷达是由“Radio Detection and Ranging”中几个英文字头组成的新词“Radar”的中文音译,意思是无线电探测和测距。

雷达出现在 20 世纪 30 年代后期,40 年代后期用于航海。经过半个多世纪的发展,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,功能越来越完备,应用越来越广泛。现在无论在军事、民用和科学研究等各领域,都广泛地使用了雷达。

第二次世界大战后,装备航海雷达的船舶迅速增长。大量的海事调查和分析结果证明,雷达的应用确实为船舶的导航与避碰提供了极大方便。但由于船舶驾驶人员在雷达操作和使用方面的原因,造成了一连串由于错误运用雷达资料、雾中航速过快与盲目转向造成的碰撞事故(以至于当时有人戏称为“雷达协助碰撞”,而不是雷达协助避碰)。因此,1960 年召开的国际海上人命安全会议通过的避碰规则增加了一个附件,即关于运用雷达观测资料协助海上避碰的建议。该附件指出:

- 1) 用不充分的观察资料作出的推断可能是危险的,应当避免;
- 2) 单凭雷达所测的距离和方位,不能充分构成他船船位已经确定;
- 3) 改向或变速应是大幅度的;
- 4) 向右转向比向左转向可取等。

这些都是装备雷达的船舶避碰经验和碰撞教训的总结。

20 世纪 60 年代末,装备雷达的船舶凭借雷达观测资料判断会遇局面和碰撞危险,并据此决定避碰行动和核查避让效果的这一客观形势的发展,促进了避碰问题的定量研究,并进一步导致了 1972 年避碰规则的产生。《1972 年国际海上避碰规则》(以下简称《规则》)第七条 2 款要求对探测到的物标进行雷达标绘或与其相当的系统观察。实践证明,雷达标绘或与其相当的系统观察可以对整个会遇局面进行系统的分析,为避碰措施提供准确的依据,减少盲目性。其主要作用有:

- 1) 能够准确反映会遇局面的情况,并能求出最近会遇距离和到达最近距离点的时间,进而可以判断是否正在形成紧迫局面和(或)存在碰撞危险;
- 2) 准确地求出来船的真航向和真航速;
- 3) 设定的避让要求,可以推算出应采取的避让措施;
- 4) 根据以上标绘的资料,可以预计本船避让行动的效果;
- 5) 可觉察出来船是否采取了行动以及采取了何种行动;
- 6) 可以不断核查本船避碰行动是否有效;
- 7) 在保证从安全距离上驶过的前提下,可以求出恢复航向和(或)航速的时机;
- 8) 能够避免由于对相对运动显示方式的不习惯而可能出现的判断错误。

随着导航仪器的发展,普通雷达已逐渐被新一代的自动雷达标绘仪(ARPA)所代替,AIS 的应用也为判断会遇局面和碰撞危险,以及船舶避碰的协调提供了极大的方便。但这并不意味着雷达标绘的重要性降低了,IMO A.482(XII)及 A.483(XII)号决议建议缔约国政府应保证

在进行 ARPA 培训之前进行雷达观测与标绘的培训,并指出不论是否装备了 ARPA,船长和驾驶员经过适当的培训并胜任人工标绘的重要性。雷达标绘的意义不仅在于标绘本身,而且在于它涉及船舶几何避碰原理的基础,对于定量的研究和把握避碰问题具有重要作用。

第二章 雷达基本工作原理

雷达是应用电磁波来探测物标,不受黑夜的限制,受雨、雾、雪等气象条件影响也不大,作用距离远,而且提供的数据多、精度高,显示直观和使用方便,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存在很多局限性,如雷达仅能显示本船周围水面上的物标相对于本船的平面位置,不能显示物标水下的深度和水面上的高度,也显示不了物标背后的情况;显示物标的图像不同于物标海图上的形状,也不同于人眼所看见的形状,更不符合物标的实际形状;雷达显示屏上不仅有物标的回波,还有假回波和干扰回波,而雷达却无法识别,等等。船舶驾驶员必须掌握雷达的构成、基本原理和性能,并能正确操作和运用,充分发挥雷达设备的作用,同时应清楚掌握雷达的误差和了解雷达的局限性,避免盲目依靠和信赖,以确保航行安全。

IMO 及许多国家都规定,船舶驾驶员必须接受雷达实际训练并取得证书,并对培训的内容作了相应的规定。

第一节 雷达测距、测方位基本原理

一、测距原理

船用雷达采用的是脉冲测距法,如图 2-1 所示。利用超高频无线电波在空间传播时具有等速、直线传播和遇到物体有良好反射的物理特性来实现的。

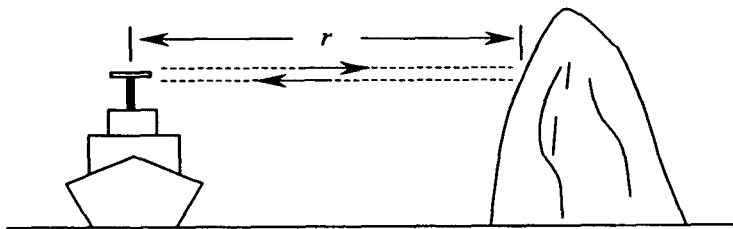


图 2-1 雷达测距原理

雷达发射的微波脉冲波离开天线的时刻为 t_1 ,经物标反射回到天线的时刻为 t_2 ,由此可求出物标离天线的距离 r 。

$$r = C/2 \cdot (t_2 - t_1) = C\Delta t/2 \quad (2-1)$$

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,微秒(μs)为雷达的基本计时单位; $\Delta t = t_2 - t_1$ 为电磁波在天线与物标之间的往返时间。

由式(2-1)可知,只要测出雷达脉冲在天线与物标之间的往返时间,则可求得物标距离。比如: $\Delta t = 1 \mu\text{s}$,则 $r = 150 \text{ m}$; $\Delta t = 12.3 \mu\text{s}$,则 $r = 1 \text{ n mile}$; $\Delta t = 73.8 \mu\text{s}$,则 $r = 6 \text{ n mile}$ 。

在雷达中,微波脉冲的往返时间 Δt 是由显示器荧光屏上的距离(时间)扫描线来测量的,

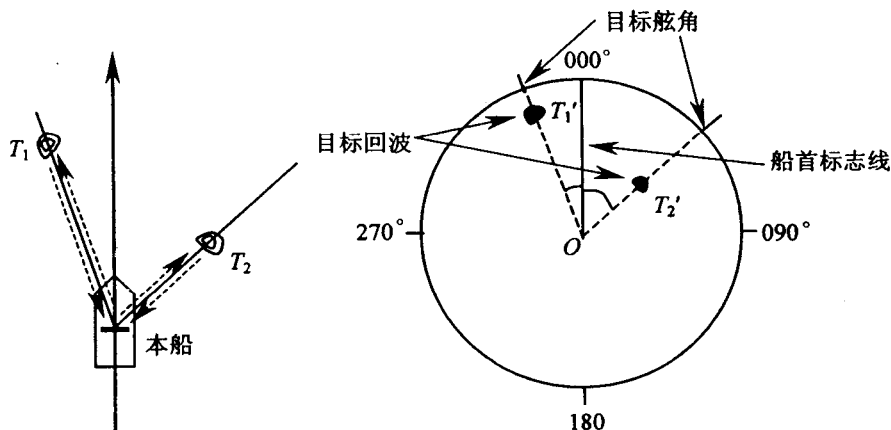


图 2-2 雷达显示

如图 2-2 所示。显示器荧光屏上的径向亮线(距离扫描线)是在天线发射微波脉冲时刻开始从中心出发匀速扫描到屏幕边,扫描速度的快慢(即扫描线所代表的时间长短)取决于量程的大小。若扫描线从中心扫到屏幕边的时间为 $12.3 \mu\text{s}$,则荧光屏半径代表 1 n mile 量程;若荧光屏半径代表 6 n mile 量程,则扫描线代表的时间为 $6 \times 12.3 \mu\text{s} = 73.8 \mu\text{s}$ 。由于距离和时间是相对应的,可以把扫描线长度按距离来分刻度,物标回波亮点在扫描线上的位置不同表明物标距离的远近。由扫描线形成可知,不同的量程扫描线代表的距离不同,即扫描的速度快慢不同。

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,也只接收这个方向上的回波,那么天线所指的方向就是物标的方向。同时,利用方位同步系统使显示器荧光屏上的扫描线与天线所指的方向保持一致,出现物标回波的扫描线方位就代表了物标的实际方位。为测定物标的舷角,当天线转过船首方向时在荧光屏上产生一根代表船首方向的径向亮线(船首标志线),如图 2-2 所示。物标所在的扫描线与船首线之间的夹角就是物标的舷角(相对方位)。如果天线旋转,依次向四周发射雷达波,周围的物标就按物标的实际方位显示在荧光屏上,利用显示器配备的测量设备就可测出物标的方位。

第二节 雷达的基本组成

一、基本组成及各部分作用

船用雷达的型号很多,但基本组成框图可用图 2-3 表示。

各部分作用及相互关系如下:

1. 触发电路(Trigger; Timer)

触发电路亦称触发脉冲产生器、定时器、定时电路、同步电路,是雷达的指挥中心。其作用是每隔一定时间(例如 $1000 \mu\text{s}$)产生一个作用时间很短的尖脉冲,即周期性的尖脉冲——触发脉冲,亦称定时脉冲、同步脉冲,如图 2-4 a 所示,分别送:1)发射机:控制雷达发射开始;2)接收机:控制近距离增益;3)显示器:控制扫描计时开始,使它们同步工作。它的电路结构简单,一般均装在发射机里,也有装在显示器里的。

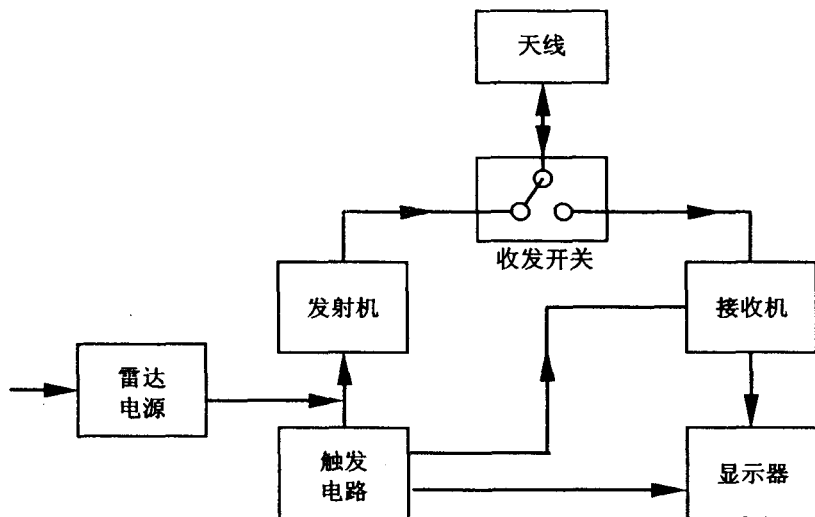


图 2-3 船用雷达基本组成框图

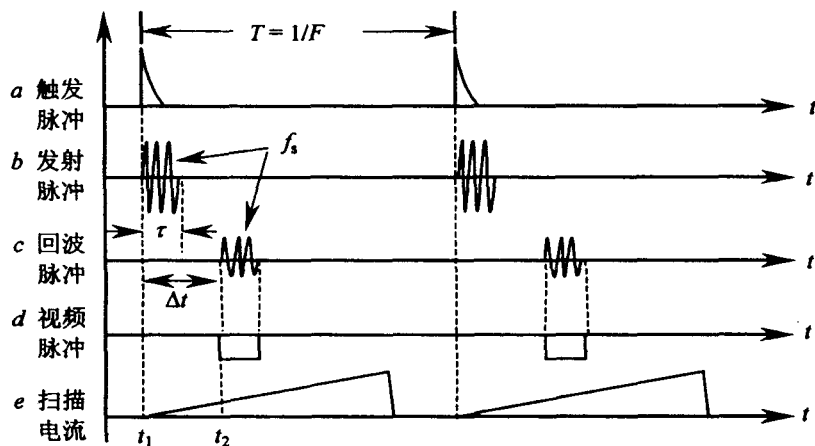


图 2-4 雷达各部分波形时间关系

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的大功率超高频脉冲信号,即周期性的发射脉冲,亦称雷达波、射频脉冲、微波脉冲,如图 2-4 b 所示。发射脉冲经波导送入天线向外发射。

3. 天线(Scanner; Antenna; Aerial)

雷达天线是一种方向性很强的天线。它将发射机送来的发射脉冲的能量聚成细束集中向一个方向发射出去,同时,也只接收从该方向物标反射回来的雷达波(回波),再通过波导经收发开关送入接收机,即雷达天线是一种定向收发天线。

雷达天线由驱动电机带动并按顺时针方向(从空中向下看)匀速转动,转速一般为 15~30 r/min,有的天线的转速更高,如 40 r/min。天线系统还向显示器发送船首位置信号和天线偏离船首角位置信号。由于电磁波在空间传播和经物标的反射,回波强度大大减弱,其波形如图 2-4 c 所示。

4. 接收机(Receiver)

从天线接收到的超高频回波信号是非常微弱的,一般仅有几微伏,而显示器显示需要约几十伏幅度的视频信号,因此需将回波信号放大近千万倍才行。接收机的任务就是把天线送来的微弱的超高频回波信号进行放大处理成显示器可以显示的视频回波信号,如图 2-4 d 所示。雷达采用了超外差式接收机。

5. 收发开关(T-R switch;T-R cell)

船用雷达的发射与接收是共用一个天线进行的,天线与收发机之间用微波传输线连接,这样,大功率发射脉冲就可能进入接收机而烧毁接收机混频晶体等元件。收发开关的任务就是在发射时自动关闭接收机入口,大功率发射脉冲只送到天线,保护接收机;在接收时,自动接通接收机,使微弱回波能量顺利进入接收机,同时又关断发射机通路,减小回波信号能量的流失。

6. 显示器(Display; Indicator)

船用雷达显示器是一种平面位置显示器(PPI—Plane Position Indicator)。在触发脉冲控制下产生的锯齿电流(如图 2-4 e),使亮点从荧光屏中心径向匀速向屏边缘移动形成距离扫描线,即计时、计算并按目标的距离显示物标影像,同时扫描线在方位扫描(同步传向)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、天线系统送来的方位信号将物标回波按其距离和方位显示在荧光屏上,如图 2-2 所示。另外在触发脉冲的作用下,显示器还产生距离和方位测量标志用来测量目标的距离和方位。

7. 雷达电源(Power Supply)

雷达电源设备的作用是把船电变成雷达所需的具有一定频率、功率和电压的专用电源。雷达一般采用中频(400~2 000 Hz)电源。

二、整机工作过程

雷达开关接通后,雷达电源产生的中频电加到各分机。触发电路产生的触发脉冲一路送显示器控制距离扫描系统在荧光屏上形成距离扫描线;一路送发射机,控制发射机产生发射脉冲,经收发开关、波导传输线送至天线并发射出去;当雷达波遇到物标被反射回来,一部分反射信号被天线接收,送入接收机,构成物标回波脉冲信号,经放大并转换成视频脉冲信号,送到显示器上,在扫描线相应的位置上形成加强的回波亮点。同时天线的旋转方位角信号经方位扫描系统送入显示器,使扫描线与天线同步旋转。天线旋转向四周发射雷达波,被物标反射回来的雷达波在相应的扫描线上形成物标回波亮点。可见在触发脉冲的同步作用下产生扫描线,在扫描线上形成目标的回波亮点且扫描线与天线同步旋转,综合构成了一幅雷达平面图像。利用显示器产生的测量标志可测量物标的距离和方位。

三、三单元雷达和二单元雷达

船用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。一般将触发电路、发射机、接收机和收发开关装在一个机箱里,称之为收发机(Transceiver);其余三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,这样的雷达常称为三单元雷达。也有些雷达收发机装在天线的底座中(桅顶上),合称天线收发机单元,则雷达设备由天线收发机单元、显示器单元及电源单元构成,这样的雷达称为二单元雷达。

第三节 雷达电源

雷达电源的功用是将各种船电转换成雷达工作所需要的中频交流电。中频频率一般在 400 ~ 2 000 Hz 之间。

一、雷达采用中频交流电的原因

1. 为缩小雷达中频变压器、电感线圈等元器件的体积、重量和避免低频电源干扰,用中频频率作为电源频率。由于船电种类较多,电压、频率不一,要用专用电源设备进行变换。

2. 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和各种保护作用的电源设备提供。

3. 为防止与船上其他各种高频设备通过船电电网产生相互干扰,要用专用电源设备进行“隔离”。

二、雷达电源的主要技术要求

1. 稳压:即要求在船电或负载变化 $\pm 20\%$ 的情况下,中频输出电压变化小于 $\pm 5\%$ 。

2. 稳频:即保持输出中频频率稳定。

3. 保护:即设置短路、过流、过压等各种保护措施。

4. 适应:即能适应海上温差大、潮湿、振动大等恶劣环境。

5. 简单:即操作简单、维护方便、寿命长,能连续 24 h 长时间工作。

6. 成本:电能转换效率高、噪声和振动小、体积小、重量轻、造价低。

三、雷达电源的种类

目前船用雷达电源有两种:一是中频变流机组;二是中频逆变器。

1. 中频变流机组(Motor-Generator)

中频变流机组的组成如图 2-5 所示。其主要由电动机、发电机、启动器、控制电路等组成。一台由船电驱动的电动机带动一台同轴连接的中频发电机发出中频交流电供给雷达,即将电能转换为机械能再转换为电能。附加马达驱动电路、稳压和稳频的控制电路,以及具有短路、过流、过压等保护功能的保护装置。

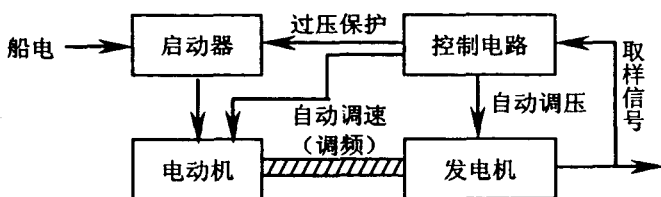


图 2-5 中频变流机组组成框图

中频变流机组特点是:容量较大、可靠性高、抗过载能力强;但笨重、噪声大、效率低、维护麻烦,故已逐渐淘汰。

2. 中频逆变器(Inverter)

逆变器是一种将船舶交流电变成直流电,然后再变换成中频交流电的电子电路,没有机械部件。其形式很多,但其基本组成如图 2-6 所示。

中频逆变器特点:噪声小、轻巧、效率高、体积小、重量轻、维护简单,现在使用广泛;但可靠性、抗过载能力稍差,调整检修较困难。

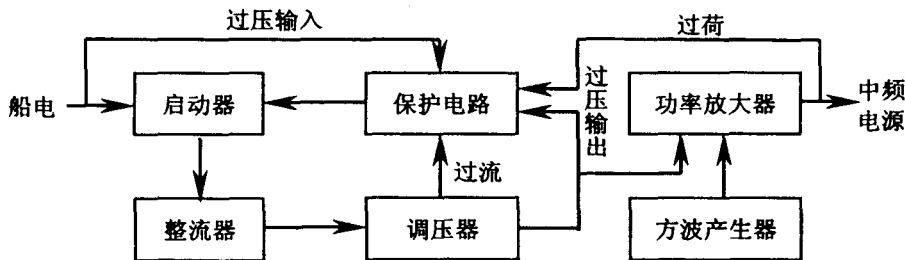


图 2-6 中频逆变器组成框图

第四节 触发电路

触发电路常采用与中频电源同步的他激式间歇振荡器,产生周期性的触发脉冲,然后利用分、倍频电路获取随量程变换所需的不同重复频率的触发脉冲。如前所述,触发脉冲控制发射机发射与扫描开始时刻并严格保证时间同步,然而发射机到天线要经过一段微波传输线,存在传输延时,使雷达波离开天线的时刻落后于显示器扫描开始时刻,从而引起固定测距误差;除此之外,电路也会对触发脉冲造成一定的延时。为消除天线发射与显示器扫描不同步引起的测距误差,触发脉冲都经过延时电路(线)延时后再送往显示器,延时的长短可通过调整电感和电容组成的延时线的抽头位置来实现。

第五节 雷达发射机

一、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产生超高频振荡(正弦波)的波长。波长与频率的关系为 $\lambda = C/f$, C 为电波传播速度。船用雷达采用微波波段中 X 和 S 两个波段。两个波段的相应工作频率和工作波长范围分别为: X 波段: 8 200 ~ 12 400 MHz, $\lambda = 2.4 \sim 3.75$ cm; S 波段: 2 000 ~ 4 000 MHz, $\lambda = 7.5 \sim 15$ cm。

目前船用雷达使用的频率范围是: X 波段: 9 300 ~ 9 500 MHz, $\lambda = 3$ cm 左右,习惯称位于此波段的雷达为 3 cm 雷达; S 波段: 2 900 ~ 3 100 MHz, $\lambda = 10$ cm 左右,习惯称位于此波段的雷达为 10 cm 雷达。

2. 脉冲宽度 τ (Pulse Length; Pulse Width)

脉冲宽度是指每个发射脉冲的射频振荡持续时间,一般用 τ 表示,常用单位是微秒(μ s)。船用雷达的发射脉冲宽度一般在 0.05 ~ 1.2 μ s 之间,随量程不同而改变。近量程采用窄脉冲;远量程采用宽脉冲。

3. 脉冲重复频率 F (PRF—Pulse Repeat Frequency)(脉冲重复周期 T)

脉冲重复频率是指每秒钟发射的脉冲数,也就是触发脉冲的重复频率,单位 Hz,一般在 500 ~ 4 000 Hz 之间。脉冲重复周期 T 与 F 之间的关系为:

$$T = 1/F \quad (2-2)$$

脉冲重复频率 F 随量程不同而改变:近量程采用高脉冲重复频率,即短脉冲重复周期 T ;

远量程采用低脉冲重复频率,即长脉冲重复周期 T 。

4. 发射功率 P (Transmitted Power)

船用雷达发射功率是指雷达的峰值功率(Peak Power) P_k 。峰值功率 P_k 是指脉冲持续期间射频振荡的平均功率,一般在 $3 \sim 75 \text{ kW}$ 之间;而雷达发射的平均功率(Average Power) P_m 是指在脉冲重复周期内输出功率的平均值,一般数值很小。平均功率和峰值功率二者之间的关系为:

$$P_m = P_k \cdot \tau / T \quad (2-3)$$

式中: τ 为脉冲宽度, T 为脉冲重复周期。 τ/T 称为脉冲工作比,其值很小。例如:当 $\tau = 1 \mu\text{s}$, $T = 1000 \mu\text{s}$ 时, $\tau/T = 1/1000$,即平均功率只有峰值功率的千分之一。

5. 脉冲波形(Pulse Wave Shape)

脉冲波形指的是发射脉冲的包络形状。一般来说,波形越接近矩形越好。因为在相同脉冲宽度下,越接近矩形能量越大,作用距离越远;前沿越陡,测距精度越高;后沿越陡,距离分辨力越高;矩形脉冲顶部越平坦,脉冲持续期间的发射功率和频率越稳定。通常脉冲前沿上升时间为脉冲宽度的 $0.1 \sim 0.2$,后沿下降时间为脉冲宽度的 $0.2 \sim 0.4$,顶部波动值为 $2\% \sim 5\%$ 。

6. 发射脉冲频谱(Radio Frequency Pulse Spectrum)

发射脉冲频谱就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 2-7 所示。大部分发射能量集中在 $f_0 \pm 1/\tau$ 的频带内。对发射脉冲频谱的要求是:谱线稳定、对称;旁瓣的最大值不大于主瓣最大值的 25% 。

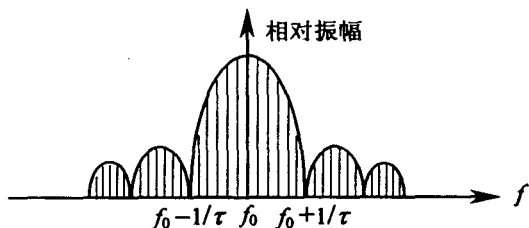


图 2-7 矩形射频脉冲的理想频谱

二、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(包括低压和特高压电源)等部分组成,其组成框图如图 2-8 所示。

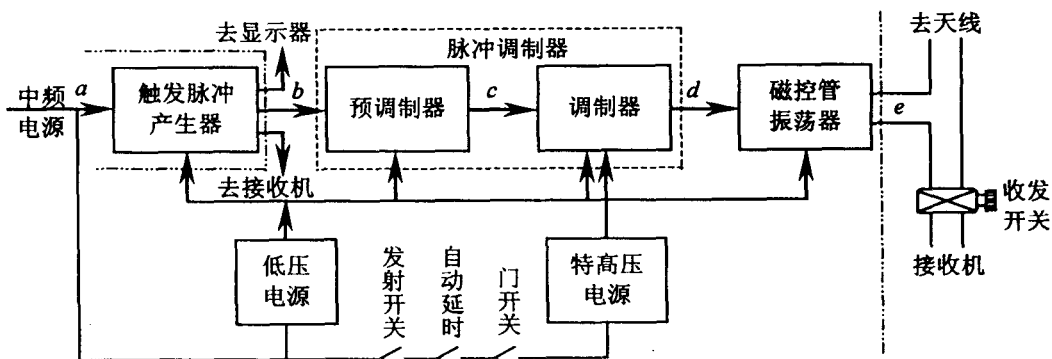


图 2-8 雷达发射机组成框图

1. 脉冲调制器(Pulse Modulator)

1) 预调制器(Pre-Modulator)

在触发脉冲作用下,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,对预调制器要求也不同,有的不需要预调制脉冲。

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 1 万伏)的负极性特高压矩形脉冲——调制脉冲,加到磁控管的阴极。

(1) 组成及原理

调制器一般由调制开关、储能元件、限流元件、储能通路元件组成,如图 2-9 所示。

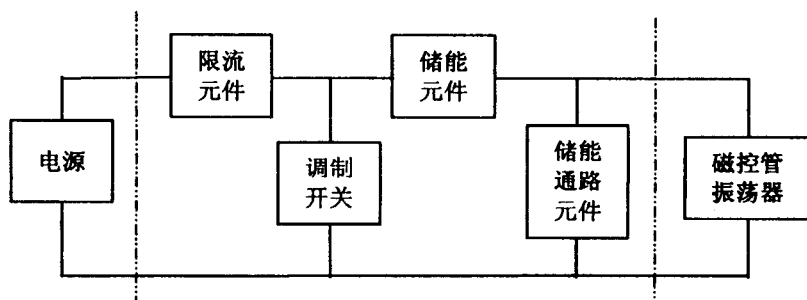


图 2-9 调制器的组成

储能元件常用电容和仿真线;限流元件常用限流电阻、扼流圈和阻隔二极管;储能通路元件常用电阻和二极管;调制开关常用真空电子管(刚性开关管)、闸流管(软性开关管)、磁开关和可控硅开关(固态开关)。

在触发脉冲未到时(脉冲休止期),高压小功率电源通过限流元件、储能通路元件缓慢地向储能元件充电;当触发脉冲到来时(脉冲作用期),调制开关接通,高压储能元件通过调制开关向磁控管迅速放电供电,使磁控管阴极获得负极性万伏高压调制脉冲。

(2) 分类

根据所用开关元件的不同,调制器分为刚性(硬)调制器(Hard-Switch Modulator)、软调制器(Soft-Switch Modulator)、磁调制器(Magnetic Modulator)及可控硅调制器(SCR Modulator),后两种又称固态调制器(Solid State Modulator)。

2. 磁控管振荡器 (Magnetron Oscillator)

磁控管振荡器是一种大功率超高频振荡器,它在调制脉冲的作用下产生宽度与调制脉冲相同的大功率超高频微波振荡(正弦波)脉冲,经波导送天线向外发射。

1) 组成部分

磁控管由灯丝、阴极、阳极、永久磁铁和输出耦合系统组成,如图 2-10 所示。

内部结构如图 2-11 所示。

2) 磁控管工作条件

(1) 灯丝加 6.3 V 交流电压,加热阴极到一定温度使其发射电子。

(2) 阳极与阴极之间加高压电场。工作时,阳极接地,阴极上加负极性 1 万余伏的高压——调制脉冲。

(3) 必须加永久恒定的强磁场。

(4) 输出负载阻抗匹配,保证功率和频率稳定。

3) 磁控管使用注意事项

(1) 为保护磁控管阴极,在加高压发射前,应保证阴极充分预热。雷达开关低压接通后,灯