

高等学校统编教材

航海雷达与 ARPA

王世远 主编
缪德刚 主审

大连海事大学出版社

内 容 简 介

本书分两篇:第一篇,船用雷达;第二篇,自动雷达标绘仪(ARPA)。主要内容
包括船用雷达与 ARPA 的构成、原理、性能及局限性、操作使用、保养、调整及工作
状态的判断方法等。全书选材及深广度考虑到学位教育及 STCW 公约对船舶驾驶
员的有关要求,原理与使用,重在使用,并反映了现代船用雷达与 ARPA 发展中的
新技术。

本书作为高等航海院校船舶驾驶专业本、专科教材,也可作为有关专业及船
舶驾驶人员的参考书或培训教材。

前 言

本教材根据 1996 年 5 月交通部高等学校航海类专业教学指导委员会会议审议通过的《航海雷达与 ARPA》统编教材大纲编写的,作为高等航海院校船舶驾驶专业本科及专科《航海雷达与 ARPA》课程的教材,亦可作为有关专业及船舶驾驶人员的参考书或培训教材。

本教材分两篇:第一篇,船用雷达;第二篇,自动雷达标绘仪(ARPA)。主要内容是船用雷达及 ARPA 的构成、原理、性能及局限性,操作使用、保养、调整及工作状态的判断方法等。内容选材及深广度考虑到学位教育及 STCW 公约对船舶驾驶员的有关要求,原理与使用,重在使用,并重视了现代船用雷达与 ARPA 的新展技术。本教材的参考教学时数为 44 学时,使用本教材时可根据需要酌情取舍内容。

本教材由上海海运学院王世远主编,大连海事大学徐德兴、上海海运学院孙国元参编。第一篇第一、二章由徐德兴编写,第三、四、五章及第二篇第三章由孙国元编写,第二篇第一、二、四章由王世远编写,全书由王世远统稿。本教材由广州航海高等专科学校缪德刚主审,他认真仔细地审阅了全部书稿,并提出许多宝贵的意见和建议,在此,对他表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中不足与错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 3 月

目 录

第一篇 船用雷达

第一章 雷达基本工作原理	(1)
第一节 雷达测距测方位基本原理	(1)
第二节 雷达基本组成及各部分作用	(2)
本章复习思考题	(3)
第二章 船用雷达设备	(4)
第一节 中频电源设备	(4)
第二节 触发脉冲产生器	(6)
第三节 雷达发射机	(7)
第四节 微波传输及雷达天线系统	(14)
第五节 雷达接收机	(23)
第六节 收发开关	(33)
第七节 雷达显示器	(35)
第八节 雷达显示方式	(48)
第九节 双雷达系统及性能监视器	(53)
第十节 雷达整机框图及整机工作状态判断方法	(58)
本章复习思考题	(63)
第三章 船用雷达的使用性能及其影响因素	(67)
第一节 最大探测距离及其影响因素	(67)
第二节 最大作用距离及其影响因素	(69)
第三节 最小作用距离及其影响因素	(75)
第四节 距离分辨力及其影响因素	(76)
第五节 方位分辨力及其影响因素	(77)
第六节 测距精度及其影响因素	(78)
第七节 测方位精度及其影响因素	(79)
第八节 雷达主要技术指标及其对使用性能的影响	(81)
第九节 影响雷达回波正常观测的诸因素	(85)
本章复习思考题	(90)
第四章 船用雷达的操作、安装及验收	(92)
第一节 主要控钮及操作要领	(92)
第二节 一般操作步骤	(97)

第三节 维护保养	(98)
第四节 安装注意事项及验收	(100)
第五节 交接班检查及维修后的验收	(101)
本章复习思考题	(102)
第五章 船用雷达定位与导航	(104)
第一节 雷达定位	(104)
第二节 雷达导航	(105)
第三节 雷达航标	(106)
本章复习思考题	(109)
 第二篇 自动雷达标绘仪(ARPA)	
第一章 绪论	(110)
第一节 普通船用雷达用于船舶避碰及局限性	(110)
第二节 ARPA 系统的组成及各部分作用	(114)
第三节 ARPA 系统的分类及特点	(117)
本章复习思考题	(118)
第二章 ARPA 基本工作原理	(119)
第一节 各种传感信号的预处理	(119)
第二节 目标自动检测、录取和跟踪	(121)
第三节 目标参数的自动计算及碰撞危险判断	(130)
第四节 显示方式及选用	(137)
第五节 自动报警与系统测试	(145)
第六节 试操船	(148)
第七节 ARPA 的外围设备及要求	(150)
第八节 附加功能	(152)
第九节 ARPA 的优点及局限性	(154)
本章复习思考题	(163)
第三章 ARPA 的操作使用	(165)
第一节 ARPA 按键的分类与安排	(165)
第二节 正确开机及初始数据设置方法	(166)
第三节 ARPA 基本功能的操作	(166)
第四节 ARPA 附加功能的操作	(167)
第五节 ARPA 的避碰应用	(169)
本章复习思考题	(170)
第四章 船用雷达与 ARPA 新技术	(171)
第一节 雷达天线新技术	(171)
第二节 雷达收发机新技术	(172)
第三节 雷达显示器新技术	(173)
第四节 船用雷达与 ARPA 的发展趋势	(177)

本章复习思考题.....	(178)
附录一 船用雷达设备推荐性能标准	
——IMO1981 年 11 月 19 日通过的 A. 477(XII)号决议	(179)
附录二 IMO 关于 ARPA 性能标准的规定	
——IMO1995 年 11 月 23 日通过的 A. 823(19)号决议	(182)
附录三 船用雷达与 ARPA 常用词汇英汉对照表	(186)
主要参考资料.....	(197)

第一篇 船用雷达

第一章 雷达基本工作原理

第一节 雷达测距测方位基本原理

一、测距原理

因为超高频无线电波在空间传播时具有等速、直线传播的特性,并且遇到物标有良好的反射现象,所以,如果如图 1-1-1 所示,记录雷达脉冲波离开天线的时刻 t_1 和无线电脉冲波遇到物标反射回到天线的时刻 t_2 ,则物标离天线的距离 S 可由下式求出:

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

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

$\Delta t = t_2 - t_1$, 为电磁波在天线与物标间往返传播的时间。

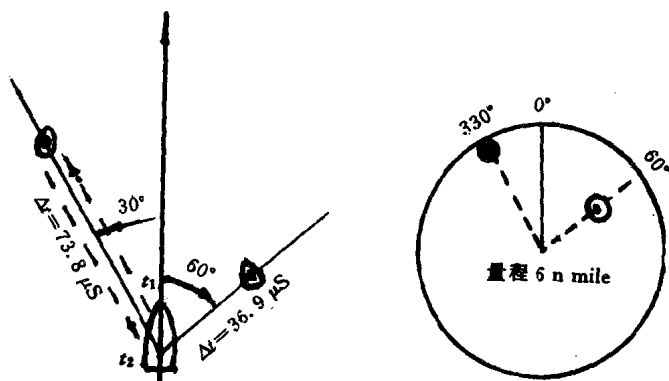


图 1-1-1 雷达测距原理

在实际雷达中,用发射机产生超高频无线电脉冲波,用天线向外发射和接收无线电脉冲波,用显示器进行计时、计算、显示物标的距离,并用触发电路产生的触发脉冲使它们同步工作。

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,所以,只要把天线做成定向天线,即只向一个方向发射,也只接收这一个方向目标的回波,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,只需记下此时的天线方向就

可知道物标的方向了。

在实际雷达中,用方位扫描系统把天线的瞬时位置随时准确地送给显示器,使荧光屏上的扫描线和天线同步旋转,于是物标回波也就按它的实际方位显示在荧光屏上了。

第二节 雷达基本组成及各部分作用

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发生器、定时器或定时电路等。其任务是每隔一定时间 (例如 $1\ 000\ \mu\text{s}$) 产生一个作用时间很短的尖脉冲 (触发脉冲) 如图 1-1-3 中 a) 分别送到发射机、接收机和显示器,使它们同步工作。

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 ($0.05\ \mu\text{s} \sim 2\ \mu\text{s}$) 的大功率 ($3\ \text{kW} \sim 75\ \text{kW}$) 超高频 (如 X 波段 $9\ 300\ \text{MHz} \sim 9\ 500\ \text{MHz}$, S 波段 $2\ 900\ \text{MHz} \sim 3\ 100\ \text{MHz}$) 的脉冲信号,即发射脉冲 (或称射频脉冲) 如图 1-1-3b) 所示。射频脉冲经波导馈线送入天线向外发射。

3. 天线 (Scanner; Antenna; Aerial)

雷达天线是一种方向性很强的天线。它把发射机经波导馈线送来的发射脉冲的能量聚成细束朝一个方向发射出去,同时,也只接收从该方向的物标反射的回波,并再经波导馈线送入接收机。

雷达天线由驱动电机带动并按顺时针方向 (从天线上方向下看) 匀速旋转,转速一般为 $15\ \text{r/min} \sim 30\ \text{r/min}$ 。天线

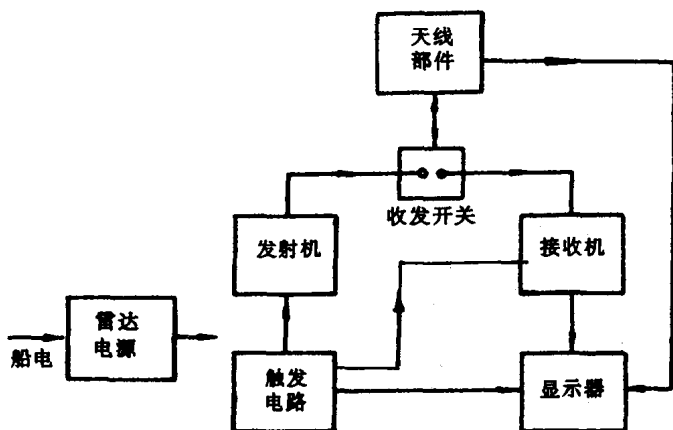


图 1-1-2 船用雷达基本组成框图

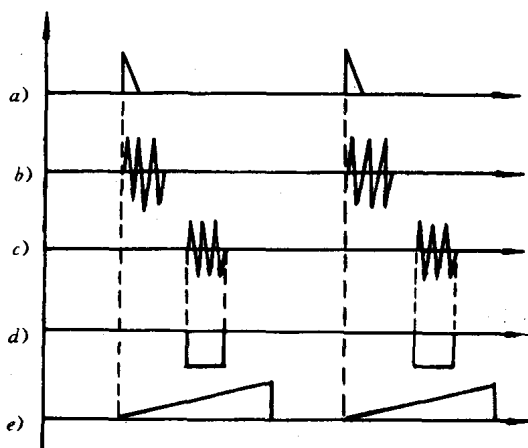


图 1-1-3 雷达基本波形时间关系

a) 触发脉冲; b) 发射脉冲; c) 回波脉冲;
d) 回波视频脉冲; e) 扫描锯齿电流

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。由于电磁波在空中传

播和经物标反射,故回波强度大大减弱并滞后于发射脉冲,其回波波形如图1-1-3c)所示。

4. 接收机(Receiver)

由于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($\mu V=10^{-6}V$)的幅度,而显示器显示需要约几十伏的幅度而且应是视频信号,因此,必须将回波信号放大近百万倍才行。雷达中的接收机均采用超外差式接收机。它把回波信号先进行变频——变成中频回波信号,然后再放大、检波、再放大,变成显示器可显示的视频回波信号,如图1-1-3d)所示。

5. 收发开关(T-R switch; T-R cell)

在船用雷达中,发射与接收是用同一副天线进行的。天线与收发机间用一根微波传输线。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,以防止它损坏接收机;而在发射结束时,又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,同时关断发射机通路,以防止回波信号能量的流失。

6. 显示器(Display; Indicator)

船用雷达的显示器是一种平面位置显示器(即PPI—Plane Position Indicator)。传统的显示器在触发脉冲的控制下产生一个锯齿电流(如图1-1-3e),在屏上形成一条径向亮线(即距离扫描线),用来计时、计算物标回波的距离,同时,这条扫描线由方位扫描系统带动随天线同步旋转。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,以测量物标的方位和距离。

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。雷达考虑了各种因素均采用中频电源供电,频率一般在400 Hz~2 000 Hz之间。

二、船用雷达设备的单元构成

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)。其余三部分各自一个独立机箱,所以常见的雷达设备有天线部件、收发机、显示器和中频电源四个机箱,这种雷达常称为三单元雷达(因在新型导航雷达中,中频电源都分散在各分机中,故电源部件不算基本单元)。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及显示器两部分组成,这种雷达称为二单元雷达。

本章复习思考题

1. 试述雷达测距、测方位原理。
2. 试画出船用雷达基本组成框图,并说明各部分的作用。
3. 什么样的雷达称三单元雷达或二单元雷达?
4. 物标离本船1 n mile,电磁波在天线与物标间来回传播需要多长时间?(单位: μs)距离为48 n mile时,又需多少时间?

图 1-2-1 中频逆变器组成框图

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给调压器。如果船电原来就是直流电,则可直接送入调压器。

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换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要的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推挽功率放大器。

功率放大器: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,防止其他高频设备干扰雷达工作。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)在检查、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)检查逆变器时,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,否则会烧坏逆变器甚至雷达本机。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。

2. 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1-2-2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并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—电能的二次能量转换装置,故其效率比电能—电能仅一次能量转换的逆变器差。

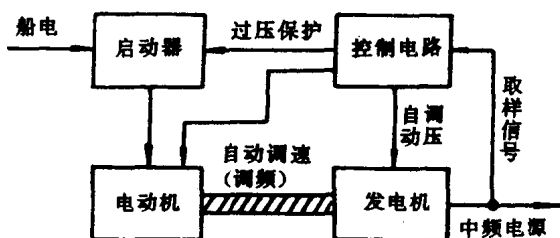


图 1-2-2 中频变流机组组成框图

为适应实际各种船电的要求,电动机的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。其作用是保证可靠地接通或断开电源,而且在接通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电压、频率稳定、可靠的中频电源。由于交流电动机转速一般较稳定,故一般不设自动调速电路。

2) 变流机使用注意事项

(1) 直流电机应注意电压的正负极性,交流电机应注意电动机的旋转方向是否正确。

(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。但是如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 $2/3$ 即可;切忌将两种不同型号的油脂混用。

(5) 直流电动机应定期(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 $2/3$)时应予更换。

三、两类中频电源设备的特点比较

两种电源的各种特点比较如表 1-2-1 所示。

两种雷达电源特点比较

表 1-2-1

比较项目	中频逆变器	中频变流机组
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	甚微	严重
5. 体积,重量	小,轻	大,重
6. 维护	方便	不便
7. 检修	困难	方便
8. 造价	低	高

从表 1-2-1 中可以看出,逆变器的优点多于变流机组,故现在新型船用雷达中均已采用逆变器作电源设备。

第二节 触发脉冲产生器

触发脉冲产生器的作用是每隔一定时间产生一个触发脉冲,分别送到发射机、接收机和显

示器,使它们同步工作。触发脉冲的形成电路通常是一个用中频电源同步的他激间歇振荡器。一般装在发射机里。现代船用雷达为提高测距精度,采用一种晶体高频振荡器作为整个雷达的时间基准器,装在显示器里。此时,触发脉冲便由此高频振荡器产生的高频振荡分频得到。

每秒钟内脉冲重复出现的次数,称为脉冲重复频率(Pulse Repetition Frequency,简称为PRF,或用 F 表示)。相邻两个脉冲间的时间间隔称为脉冲重复周期(Pulse Repetition Period 简称为PRP,用 T 表示)(如图1-1-3a)。显然, T 和 F 的关系为:

$$F = \frac{1}{T} \quad (1-2-1)$$

触发脉冲的重复周期应与显示器的测距范围(量程)相对应。比如,量程为120 n mile时,120 n mile处的物标回波要在发射后1 481.6 μ s(120 $\times$ 1852 $\times$ 2/300)才能返回天线。若此时用1 000 μ s作重复周期,则雷达在此周期内收不到该目标了。但重复周期也不宜过大,否则在天线旋转一周的时间内物标回波的脉冲积累数太少,回波强度变弱,影响雷达对近距离小物标的探测能力。

大部分雷达考虑了各种因素的影响,将脉冲重复频率随量程段改变,即在近、中、远量程段各选定一个脉冲重复频率,由量程开关控制变换。船用导航雷达的脉冲重复频率在500 Hz ~ 4 000 Hz之间。表1-2-2列出了Sperry公司的RASCAR 3400M雷达各量程段的脉冲重复频率。

RASCAR 3400M 的脉冲重复频率

表 1-2-2

	量 程 (n mile)			
	0.25~1.5	3	6~12	24~96
脉冲重复频率(Hz)	3 200	1 600	1 600	640
脉冲重复周期(μ s)	312.5	625	625	1 562.5

第三节 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(一般包括预调制器和调制器)、磁控管振荡器及发射机电源等部分组成,如图1-2-3所示。

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。对预制脉冲的波形和幅度的要求,视所用调制器的类型而定。在刚性调制器中,预调制脉冲的宽度和波形决定着发射脉冲的宽度和波形,因此对预调制器有着较严格的要求,而且,雷达脉冲宽度的转换在这一级进行。

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1万伏特)的负极性高压矩形脉冲(调制脉冲)加给磁控管的阴极。

3. 磁控管振荡器(Magnetron Oscillator)

磁控管振荡器是一种被调制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)经波导送天线向外辐射。触发脉冲及发射机

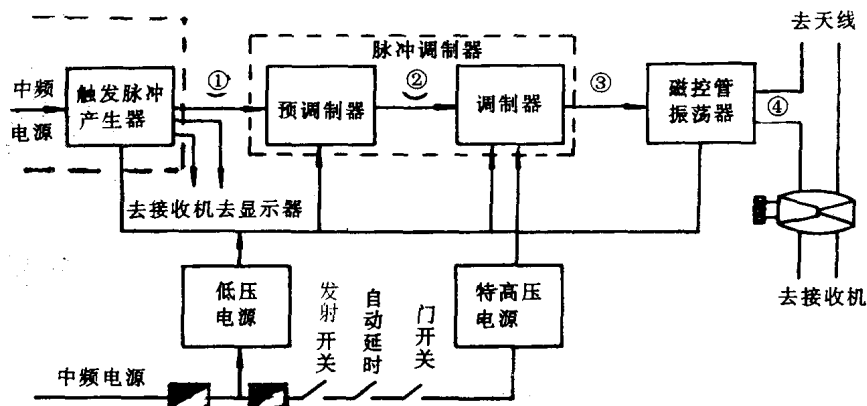


图 1-2-3 发射机组成框图

各级波形的时间关系如图 1-2-4 所示。

4. 发射机电源(Power Supplies)

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。保险丝及指示灯一般都装在明显易见又便于拆装的地方。

低压电源与接收机电源装在一起，产生除特高压以外的其他所需的各种交直流电源。由变压器及各整流滤波电路组成。

高压电源部件一般与调制器、磁控管振荡器一起装在一个标有醒目“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控制触点，如图 1-2-3 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能送到高压变压器的初级绕组，以实现对人及对雷达设备的安全保护。

高压自动延时电路的作用是为了保证磁控管有足够的(3 min~5 min)的预热时间。

二、发射机主要技术指标

1. 工作波长 λ (Wavelength)

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。船用雷达的工作波长允许的范围是：

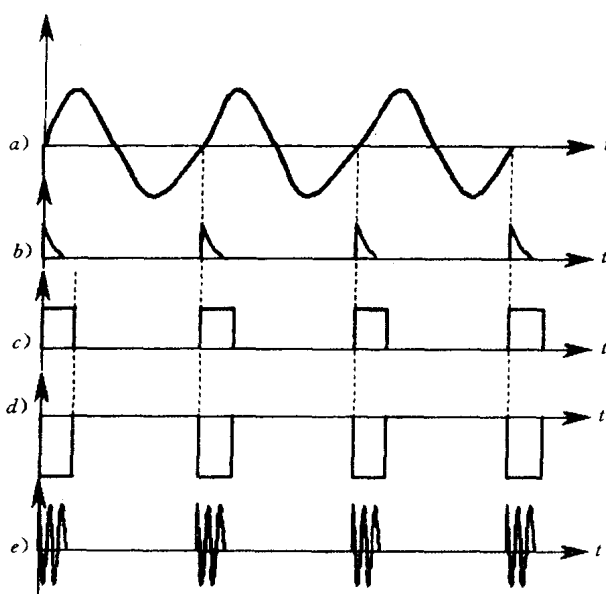


图 1-2-4 触发脉冲、发射机各级波形图

a-中频交流电；b-触发脉冲；c-预调制脉冲；
d-调制脉冲；e-射频脉冲

S 波段 15 cm~7.5 cm

X 波段 3.75 cm~2.4 cm

与它对应的工作频率范围为:

S 波段 2 000 MHz~4 000 MHz

X 波段 8 000 MHz~12 500 MHz

目前船用雷达使用的频率范围为:

S 波段 2 900 MHz~3 100 MHz

X 波段 9 300 MHz~9 500 MHz

2. 脉冲宽度(Pulse Length; Pulse Width)

脉冲宽度就是射频脉冲振荡持续的时间,一般用 τ 表示。在船用雷达中常用 μs (微秒)为单位。船用雷达中,考虑了各种要求, τ 一般选在 $0.05 \mu\text{s} \sim 2 \mu\text{s}$ 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期间的射频振荡的平均功率,一般较大,船用雷达的峰值功率在 $3 \text{ kW} \sim 73 \text{ kW}$ 之内。平均功率是指在脉冲重复周期内输出功率的平均值,因此,数值很小。它们之间的关系为:

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

式中: τ 为脉冲宽度;

T 为脉冲重复周期。

可见,平均功率仅为峰值功率的几百分之一或几千分之一。

4. 脉冲波形(Pulse Wave Shape)

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。在相同的脉冲宽度下,越接近矩形,能量越大,作用距离越远;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 $2\% \sim 5\%$ 。

5. 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 1-2-5 所示。由图可见: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,接收机通频带宽度至少不能小于 $2/\tau$ 。对发射脉冲频谱通常要求谱线稳定、对称;旁瓣的最大值不大于主瓣最大值的 25% 。

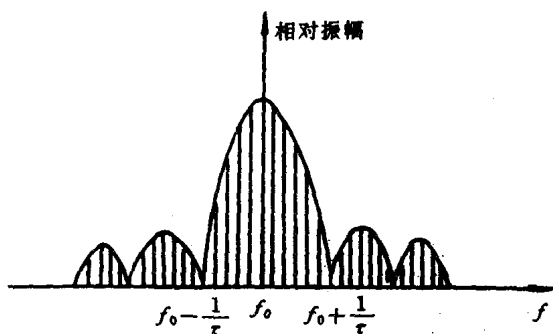


图 1-2-5 矩形射频脉冲的理想频谱

三、磁控管振荡器

1. 磁控管的结构

磁控管振荡器(Magnetron Oscillator)中的磁控管由灯丝、阴极、阳极、永久磁铁和输出耦

合装置等组成。磁控管外形如图1-2-6所示,内部结构如图1-2-7所示。

磁控管阴极为圆柱形旁热式的氧化物阴极,它位于磁控管中央。阴极表面具有很强的发射能力。阴极圆筒里面装有灯丝,以加热阴极。灯丝电压一般为 6.3 V,也有用 12 V 的。交直流均有使用。灯丝一端与阴极相连,两根引线穿过高压绝缘罩接入负向高压调制脉冲和灯丝电压。

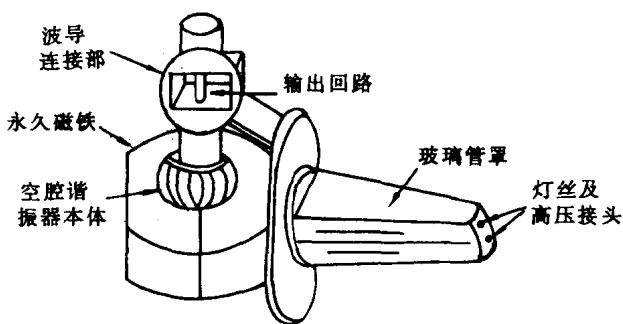


图 1-2-6 磁控管外形图

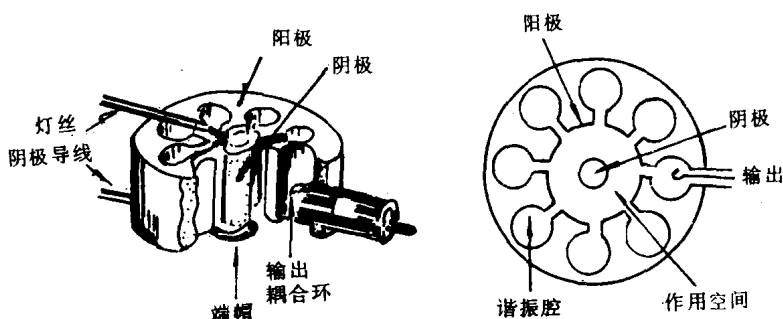


图 1-2-7 磁控管结构剖面图

阳极是一块厚约 1 cm 的圆形大铜环。圆孔中央放着阴极,阴极和阳极块同心。阴极和阳极之间的空间称为作用空间。阳极块圆环四周沿其轴线方向开有偶数个(一般为 8 个~14 个)圆孔(谐振腔)。每个腔都开有缝隙与作用空间相通。圆孔(相当于电感 L)和缝隙(相当于电容 C)组成磁控管的高频振荡系统。腔体(圆孔及缝隙)的尺寸大小基本决定了磁控管的振荡频率。工作时阳极块会发热,为了便于散热,阳极块外面往往装有散热片。另外,为了安全及便于高压与机壳间绝缘,磁控管的阳极接地(接机壳),而把负极性调制脉冲接到阴极上。

永久磁铁用来产生控制电子运动的恒定磁场,磁力线与阴极轴线平行。磁场要有一定的强度和均匀性。波长越短,所需磁场强度越大。例如,3 cm 磁控管中,磁感应强度 B 的数量级为 0.5 T(特斯拉),而在 1 cm 磁控管中, B 值增至 1 T。

输出耦合装置的作用是通过装在一个谐振腔中的耦合环将磁控管振荡器产生的所有振荡能量取出并通过同轴线或波导耦合至主波导中去。

2. 磁控管的工作条件

要使磁控管正常工作,除磁控管本身要完好外,还必须满足如下条件:

- 1) 灯丝加上额定工作电压,将阴极加热到一定温度;
- 2) 阴—阳极间加上额定的负极性调制脉冲;
- 3) 应保证磁控管的输出负载匹配,即波导与天线应连续、不变形及内部光洁等,否则,磁控管输出功率及频率将发生波动,甚至使磁控管跳火,以至损坏。

3. 磁控管振荡原理

磁控管振荡器是一种特殊结构的超高频振荡器,其振荡原理比一般的振荡器复杂得多。这里仅作简单介绍。

1) 起振

雷达置“预备”状态(接通低压电源)后,磁控管灯丝即通电加热阴极。一般经 3 min 后阴极可达到自由逸出电子的温度。当雷达置“工作(发射)”位置时,负极性高压调制脉冲即加至磁控管阴极—阳极之间,即在磁控管阴—阳极间形成高压直流电场,阴极表面电子在此直流高压电场作用下快速移向阳极。在此过程中,运动电子还受到与直流电场正交的强磁场的作用,使电子运动方向改变,结果,电子将按摆线运动规律运动。磁控管的磁场强度只有在略大于某一个临界值时才能正常工作。此时,电子按摆线规律运动经靠近阳极表面附近而后返回阴极。

大量电子在作用空间中移动在磁控管谐振系统中感应出微弱的高频振荡,频率为固有振荡频率。其中,高频磁场主要集中在腔孔中,高频电场主要集中在隙缝及腔口附近,并伸展到作用空间。船用雷达磁控管都工作在 π 模式,即相邻两腔高频电场相位差 180° 。高频电磁场分布如图 1-2-8 所示。

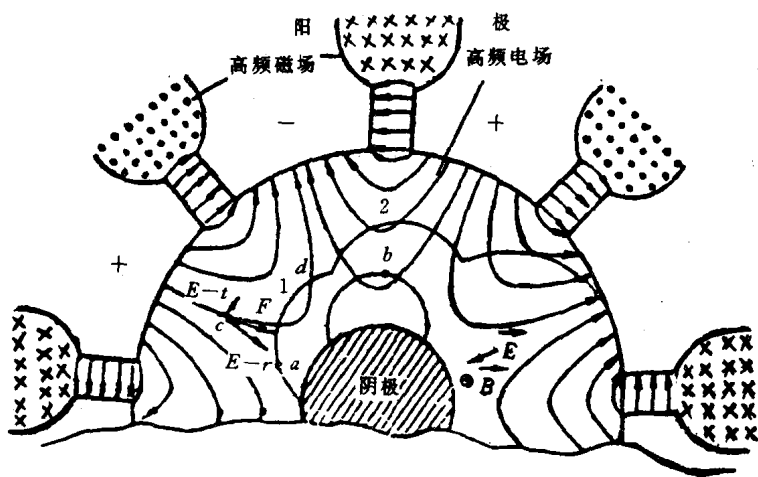


图 1-2-8 电子与高频电场的能量交换

2) 能量补充

在阴极发出的电子中,有些电子飞过某腔口时,正好与该腔高频电场的横向分量方向相同,电子将被该电场减速,即电子将从直流电场中取得的能量交给高频电场。设计时考虑了各种因素(尺寸大小,高压及磁场的大小等)使电子从一个腔口移到另一个腔口时,经历高频振荡的半个周期时间,各腔口高频电场的方向恰好改变,因而,这个电子仍处于高频电场的减速场中。这样,电子在逐步接近阳极的过程中,不断深入高频场,把从直流场中取得的能量多次交给高频场,有利于高频场的维持,故称这类电子为有益电子。

另外一些电子从阴极飞出时,恰好与某腔口高频电场的横向方向相反,受到高频场的加速,以很快的速度飞回阴极。这种电子从高频场中取走能量,不利于高频场的维持,故称有害电子。有害电子以较快速度轰击阴极,使阴极发热,故有些雷达,在宽脉冲工作时要减小灯丝电压,甚至切断灯丝电源。

上述有益电子不断深入高频场,把能量多次交给高频场,而有害电子一般仅在一个高频场中取走能量,所以总的说来供能大于耗能,高频振荡得以维持下去。

此外,减速场腔缝口左侧,电场的径向分量与直流电场方向相同,使电子径向运动加速,则受同样磁场力的作用向右(向腔缝口中心方向)横移的速度加快,即电子向腔缝中心的径向方