

水面舰艇通信对抗



中国人民解放军 海军海司通信部



前 言

本教材是水面舰艇通信对抗专门教材,供海军电子对抗参谋、通信业务长培训使用。

全书共分两篇七章,第一篇无线电通信对抗基础,主要介绍无线电通信对抗的基础知识,无线电干扰实施的一般方法。第二篇水面舰艇通信对抗战术,介绍了通信对抗在水面舰艇作战中的战术应用。

本教材由高东华同志编写,程克镇同志审核。主要参考资料有:总参四部编写的《通信对抗系统》等。在编写过程中,得到了海司通信部、通信部电子对抗处等有关领导和同志的具体指导和帮助。本教材由夏惠诚、王平军同志打印和校对。在此一并表示感谢。

由于我们掌握的资料有限,特别是舰艇通信对抗战术方面的参考资料甚少,教材中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

一九九四年四月

目 录

第一篇	无线电通信对抗基础	1
第一章	无线电通信侦察	3
第一节	概述	3
第二节	无线电通信侦察原理	7
第三节	无线电通信测向和定位原理	24
第二章	无线电通信干扰	41
第一节	无线电通信干扰的分类	41
第二节	最佳干扰的概念	46
第三节	干扰机的作用距离和干扰功率计算	53
第四节	几种干扰机的组成和工作原理	62
第三章	无线电通信干扰的组织与实施	70
第一节	通信干扰的实施	70
第二节	通信干扰的战斗行动	75
第三节	无线电通信反侦察反干扰措施	78
第二篇	水面舰艇通信对抗战术	81
第一章	对敌海上编队袭击战斗中的通信对抗战术	83
第一节	在对敌海上编队袭击战斗中通信对抗能达到的战术目的	83
第二节	对敌海上编队袭击战斗中的远程通信干扰战术	84
第三节	对敌海上编队袭击战斗中的伴随突防和近程支援通信干扰战术	129
第二章	在夺取作战海域制空权和减轻我舰艇(编队)空中威胁 战斗行动中的通信对抗战术研究	137
第一节	在夺取作战海域制空权和减轻我舰艇(编队)空中威胁战斗 行动中的通信对抗所能起的作用	137
第二节	需要压制区的确定	138
第三节	干扰有效复盖区的估算	140
第四节	干扰兵力的配置阵位选择	142
第五节	对敌对空引导网通信对抗装备的初步战术论证	151
第三章	海战中防御敌导弹攻击时的通信对抗战术研究	157
第一节	通信对抗在防御敌导弹攻击时所能达到的战术目的	157
第二节	对敌导弹攻击引导通信网实施通信对抗的战术	158

第三节	对攻击舰艇(群)编队间指挥、协同通信网的通信对抗战术-----	165
第四节	对敌超视距导弹攻击时通信对抗装备战术论证的探讨-----	168
第四章	在封锁、收复敌占岛礁作战中的通信对抗战术研究-----	171
第一节	对敌占岛礁的通信对抗战术-----	171
第二节	陆上通信干扰战的威力估算-----	175

第一篇 无线电通信对抗基础

现代战争中，为了使军队的作战指挥系统具有迅速、可靠的指挥能力，对无线电通信提出了很高的要求。无线电通信已成为战争中的主要通信方式。因此，扰乱和破坏敌方的无线电通信就成为一种特殊的战斗任务，它除了用火力和手段摧毁敌方的通信工具外，主要是采用通信对抗的手段。

无线电通信对抗（简称通信对抗），是电子对抗的一个重要组成部分。它是使用电子侦察设备截收敌方无线电通信信号，进行识别分析和测向定位，并根据获取的情报运用无线电子干扰设备扰乱敌方无线电通信设备正常工作，使其效能降低或完全失效，以达到扰乱敌方的作战指挥能力乃至达到破坏敌方C3I系统的目的。

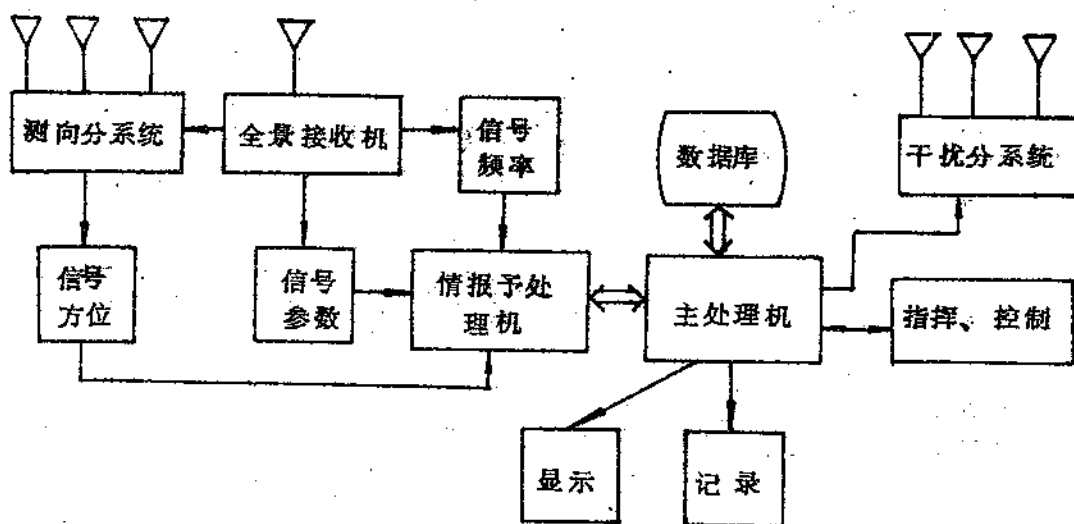


图 0-1 现代战争中通信对抗系统的基本组成

图0-1 表示了现代的通信对抗系统基本组成。其中全景接收机及配置在侦

察站、测向站及干扰站的侦察接收机组成了侦察分系统，它的任务是对敌方通信信号进行搜索、截获、分析和侦听。该系统应具有快速搜索全频段或分频段内无线电信号的能力，并通过全景显示器了解频段内信号的分布及活动情况，将重要的信号分配给分析接收机进行分析测量，得到通信信号的各种技术参数如频率、电平、调制方式、时间等等，并送到预处理机进行情报的预处理。

测向定位分系统接收侦察站的测向申请，将得到信号源的方位测量数据送到情报处理预处理机，也可以回送侦察站。

干扰分析系统是通信对抗系统的“战斗部”。该分系统在指挥控制通信分系统的统一指挥控制下，对敌方通信系统实施有效的无线电积极干扰。

指挥、控制、通信及情报分系统是整个系统的指挥中心和神经中枢。其主要功能是完成各分系统之间的通信；收集、处理、综合、存储各分系统之间侦察得到的各种情报及上级、友邻提供的各种情报信息。并可进行辅助指挥与决策，进行有效的干扰控制、管理和效果监测。

因此，一个现代的通信对抗系统至少应包括一个侦察分系统、一个测向定位和一个干扰分系统。

第一章 无线电通信侦察

第一节 概述

什么是无线电通信侦察？

无线电通信侦察就是利用专门的无线电侦察设备对敌方各种无线电通信信号进行搜索、截获、测量（频率、时间、幅度、方向），识别、记录、分析和综合，获取有关的情报，提供无线电通信对抗或其他部门使用。

无线电通信侦察的目的：

现代战争中，指挥、控制、通信和情报越来越电子化、自动化、系统化。军队的通信、雷达、制导等电子装备越来越多。通过包括无线电通信侦察在内的电子侦察窃取对方电子设备所发射的电磁信息，可获得重要的技术情报和军事情报。

技术情报就是利用无线电侦察设备，搜索和截获敌方无线电通信信号，测量和分析而获得的敌方通信设备的技术指标和信号参数。例如信号频率及其频率稳定度、调制方式、信号强度、工作方式、信号方位、数字通信的传码率等纯技术性的信号参数。

军事情报指的是利用无线电通信侦察设备查出敌方通信设备的类型、数量、配置结构和工作状态，以及破译密码密语而获得的有关敌方编制、使命、动向以及火力配置等可用于战术和战略指挥的情报。

无线电通信侦察是无线电通信对抗的基础，无线电通信侦察所获得的战术情报和军事情报配置是无线电通信对抗作战计划、研究无线电通信对抗战术对策、发展无线电通信对抗装备的依据，又直接为无线电通信干扰、无线电通信电子防御、引导火力摧毁敌方电台以及其他战术行动提供情报。

无线电通信技术侦察的任务和设备：

1. 无线电搜索：搜索是指无线电侦察设备在全波段内不间断的扫描，发现无线电信号，即检测出信号的存在，估测信号的频率，以便观察空间信号的环境，实时监测信号的出没，并指导进一步的侦察，如分析、测向等。

用于搜索的侦察设备有搜索接收机（亦称波段全景接收机）等。

2. 信号截获：信号截获是指发现信号和识别信号。发现信号包括检测和频率估计，识别信号包括分析和判断。显然，发现信号是识别信号的前提和基础。识别信号的主要方法是波形分析和频谱分析。使用的设备有监听接收机，分

析接收机等。

3. 测向定位：即测量感兴趣的信号来源方位，并计算电台的地理位置。

4. 参数存储：将侦察到的技术参数和可疑信号存储起来，以便使用或以后继续分析。存储设备有短期和长期两类：短期存储设备有寄存器、延时线，各种显示装置也可以用作存储器；长期存储器设备有数据库或硬拷贝以及磁带等。

5. 参数显示：实时、形象地显示侦察设备所得数据。对各种侦察设备，显示装置是各不相同的。许多显示装置不仅是显示参数的装置，也是发现信号和测定信号参数的装置。

6. 情报分析和综合：军事情报来源于技术方面的参数、使用方面的参数和作战方面的参数的分析和综合。例如，根据侦察所得的电台频率、地理位置和出现时间可分析电台的战略地位；又如，通过无线电通信侦察发现某地区有电台，可推理出该地区有敌人存在；若查明电台的类型，可推理出敌人所属部队，兵力指导关系。这些工作过去主要是依靠人的智能完成的。现在已越来越倾向于用计算机辅助完成，用各种军事专家系统来完成。

无线电通信侦察系统的组成

为了提高电子战系统的反应能力和功能扩充，随着计算机技术和微处理机的广泛应用，电子战的设备也配上了计算机。这就使得现代电子战摆脱了过去那种侦察、截收、分析、测向、干扰各自独立地工作，而由人工来协调的状态。指挥、通信、控制和情报合为一起的C3I系统已经成为前述无线电通信对抗“战士”的大脑，极大地增强了他的反应能力。

典型的无线电通信侦察系统的组成如图1-1所示：

由图可知，典型的无线电侦察系统由一个主站和几个属站组成，站间有勤务电话和数据传输通信系统。

主站由全景接收机、监测收听接收机、测向接收机以及信号处理器和控制操作系统台组成。全景显示接收机与监测收听接收机共用一副宽带对数周期天线。全景显示接收机将接收到的信号显示在全景显示器上，完成对指定频段范围内的敌台信号的全景监测。监测收听接收机在全景显示接收机的引导下，对被监测信号的工作频率、相对电平和频谱进行测量。测向接收机在监测收听接收机的频率引导下，完成对信号的测向任务，并与属台站测向设备共同完成对敌台的交叉定位。信号处理器利用各种接收机送来的被侦收台站的有关信息，如工作频率、调制方式、相对电平、频谱方位和位置，完成对信号的分选、识别和分析处理。结果存入数据库。控制操作台则完成对各个接收机和系统的操作

控制，使各个部分协调一致地工作。

图中所示的无线电通信侦察系统既可以独立存在，也可以是无线电通信对抗系统的一部分。

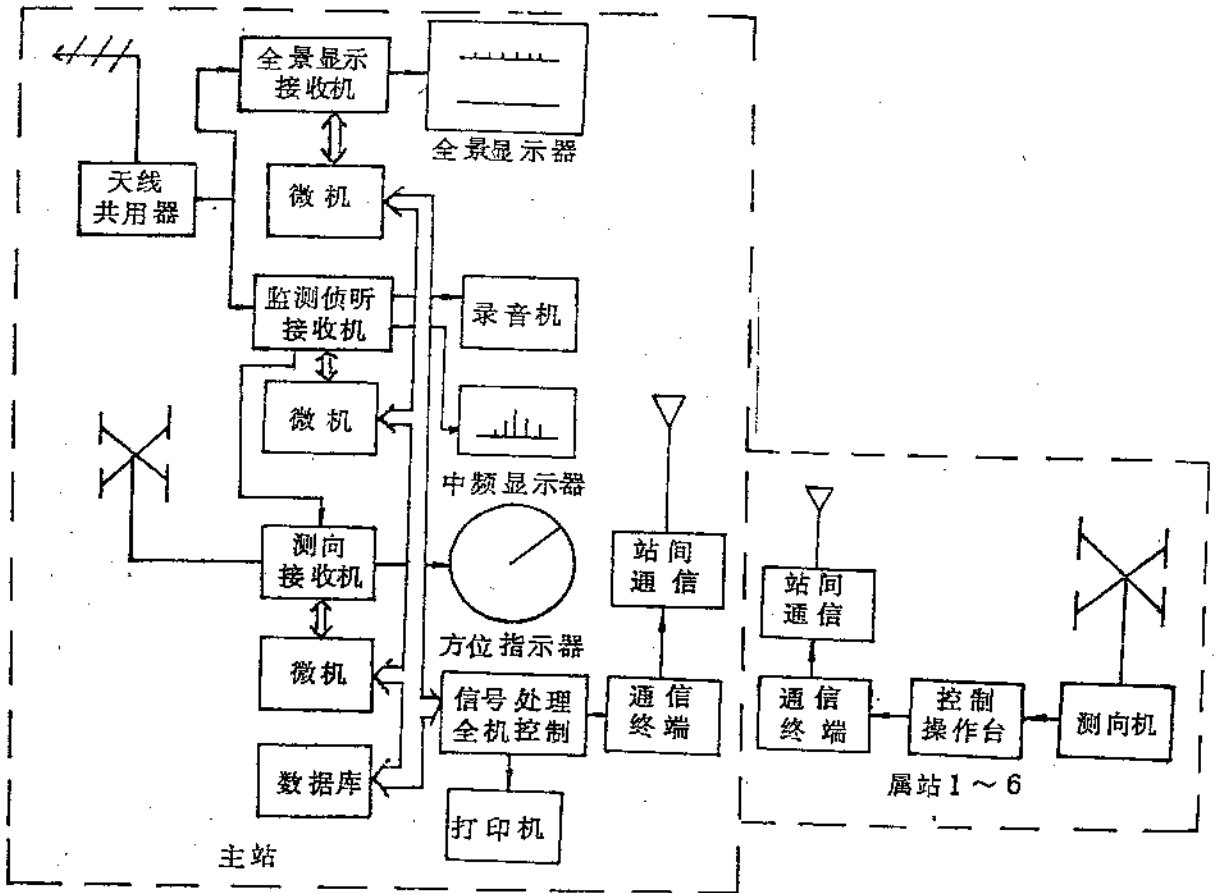


图1-1 无线电通信侦察系统组成

对侦察系统的要求

无线电通信侦察面临着密集的、复杂的电磁环境，而且通信对抗与反对抗不断发展，对通信侦察设备提出的要求也越来越高。我们根据无线电通信技术侦察的任务，设备和系统组成以及无线电通信侦察设备的功能，综述对侦察设

备的要求和侦察机的重要质量指标：

1.要能实时处理信号。实时处理是指瞬时分析和显示。实时处理性能要求系统足够高的搜索截获速度。

实时处理能力直接影响到侦察系统的截获概率和反应速度。

截获概率是指在给定的时间内正确地发现和识别信号的概率。截获概率既与信号特性有关，也与侦察系统的性能有关。如果系统具有实时处理能力，而且功能多，可靠性高，也可能获得高的截获概率。

反映实时处理能力的指标是搜索周期。搜索周期是指侦察接收机扫过侦察频段一次所需的时间。也叫分析时间（或叫扫描时间）。单位为秒。一般，搜索周期短，截获概率比较高，但分辨能力就可能比较低。

2.要有足够宽的频段复盖。频段复盖指的是侦察接收机(以后简称侦收机)截获信号的频率范围。频段复盖也称侦察频段。对于超外差接收机，其侦察频段是其本振频率调谐的范围。

侦察频段越宽，则完成全频段复盖所需的侦收机数量越少。新型超短波侦察机的频段复盖是20~100MHZ。

3.要有足够高的频率分辨力。

频率分辨力是指侦收机能分辨两个频率相临之电台的能力。单位为 H z 或 KHz。

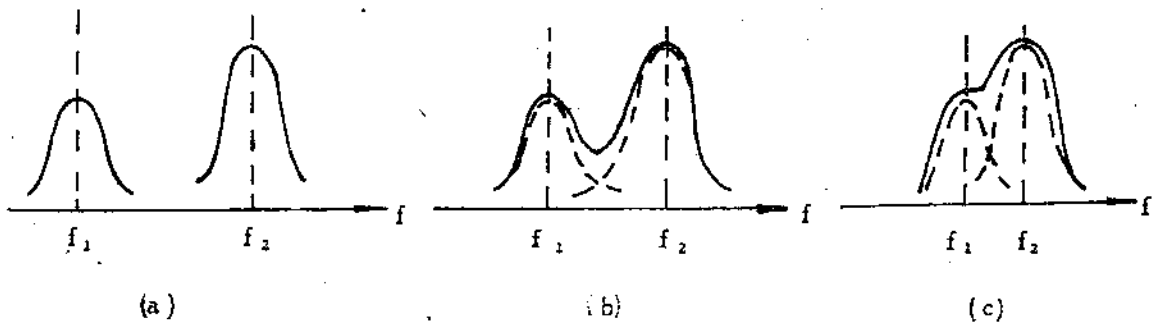


图 1-2

如图1-2 所示，当两个信号逐渐靠近时，两个信号之间的凹谷将随之上升，

波峰亦趋于平坦，最后合并为一个，以致无法分辨出两个同时存在的信号。侦收机中把谷点的高度等于小信号幅值的一半规定为可以分辨的标准。在这个规定下，两个信号的频率之差，称为该机的分辨力。如图1-2(b)。

侦收机的频率分辨力直接影响到频率截获概率。特别是空间信号日益密集，如果分辨力不够，就难以截获频率比较接近的信号，造成误侦、漏侦。

4. 要具有截获多种形式信号的能力：现代无线电通信信号种类很多。调制形式有调幅、调频和调相；信号形式有连续波和脉冲信号；通信方式有模拟的、数字的、扩频的和跳频的等等。这就要求侦察设备具有截获多种信号的能力。

5. 要有足够高的灵敏度和足够大的动态范围。

灵敏度是指侦收机截获微弱信号的能力。能截获的信号越微弱，则灵敏度就越高。

动态范围是指保证精确分析测量信号参数前提下的输入信号动态范围。或者说是侦收机输入端信号的最大幅度与最小幅度之比。动态范围太小，不仅妨碍对微弱信号的截获，而且可能造成强信号堵塞，也妨碍对强信号的截获，所以要求有足够大的动态范围。

6. 高可靠性。这是对军用机最不可缺少的要求之一。

第二节 无线电通信侦察原理

无线电通信侦察的基本问题是：如何发现、测量（频率、时间、幅度、方向）、识别敌方无线电通信信号，并对截获的有用参数和情报进行记录，分析和综合后提供给通信对抗系统或其他部门使用。

一、信号截获

信号截获是指发现有用信号和识别信号。发现信号是指检测信号的存在并估测其频率。当然，测量频率也是识别信号的方法。这里是把信号频率作为信号存在的一种表示。截获信号的方法大多是设法在整个通信频段内顺序改变频率接收，依次搜索可能存在的无线电信号，所以信号的截获方法一般也称为搜索或搜索截获。下面我们先介绍常用的搜索接收机截获信号的原理，然后再介绍一种比较先进的信道化接收机。

1、搜索接收机

搜索接收机就是前面提到的全景显示接收机，也叫扫频接收机、概率截获接收机。它能在整个侦察频段内进行频率搜索，并显示截获信号的频率分布。搜索接收机由超外差接收机和全景显示器两部分组成。

(1) 搜索接收机的组成和工作原理

搜索接收机的组成如图1-3(a)所示。

由图1-3(a)可知,搜索接收机是一个超外差接收机。采用了两次变频,因而具有灵敏度高、选择性好的优点。为了实现在侦察频段内的搜索,它采用了由变容二极管控制的压控振荡器(VCO)做扫频本振。终端是阴极射线管作成的频率全景显示器。预选器由带通滤波器或电调滤波器构成。

全景显示接收机的工作原理为:由锯齿波电压产生器产生的周期性变化的锯齿波电压控制扫频本振的频率由指定频率范围的低端向高端变化,以实现在指定频率范围内对敌台的搜索。当本振变到某一频率使得它与进入混频器的外来信号的频差等于中频频率时,信号就进入中频放大器而被放大,中频输出的信号再经二次变频,二中放和窄带滤波、检波、低放以及显示电路后加至阴极射线管的垂直偏转板。

假设锯齿波电压的周期为 T 。在扫描周期内,设锯齿波电压可表示为[参看图1-3(a)]:

$$Y(t) = \cos[\omega_s t + \pi \mu t^2 + \theta_s] \quad (\text{式1-1})$$

式中 ω_s 是 $t=0$ 时频率;

μ 是扫描速率;

θ_s 是 $t=0$ 时的相角。

又设一个扫描周期内的输入信号可表示为:

$$S(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta_0) \quad (\text{式1-2})$$

式中 ω_0 是载频;

θ_0 是 $t=0$ 时的相角。

又设第I混频器后的中放、第II混频器、第II中放及窄带滤波可等效为一个冲击响应为 $h(t)$ 和带宽为 $2B$ 的带通滤波器。参见图1-3(b)。

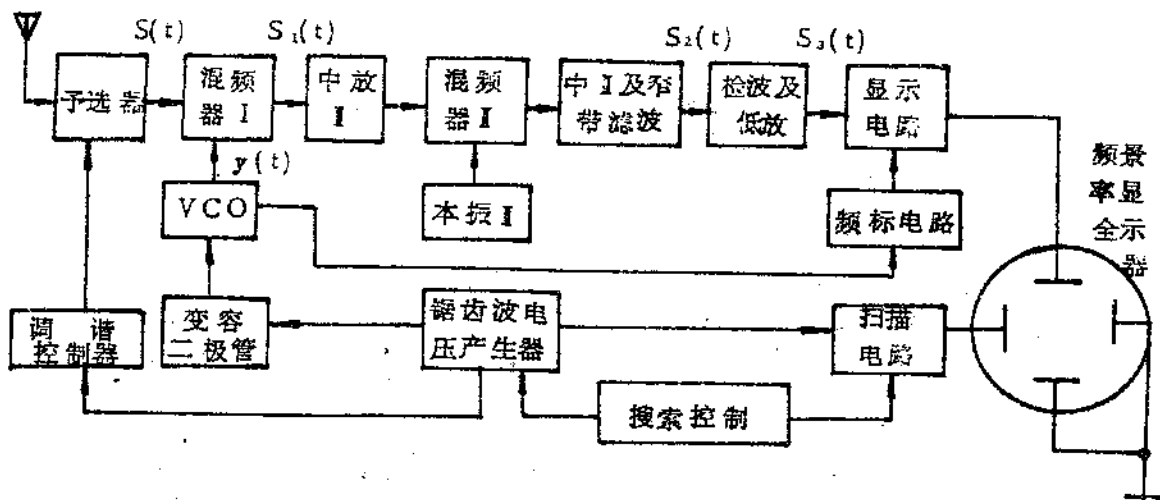
这样,第I混频器输出 $S_1(t) = S(t)Y(t)$ 在忽略由带通滤波器滤除的频率成分后,可得:

$$S_1(t) = \frac{1}{2} A \cos(\omega_1 t + \pi \mu t^2 + \theta) \quad (\text{式1-3})$$

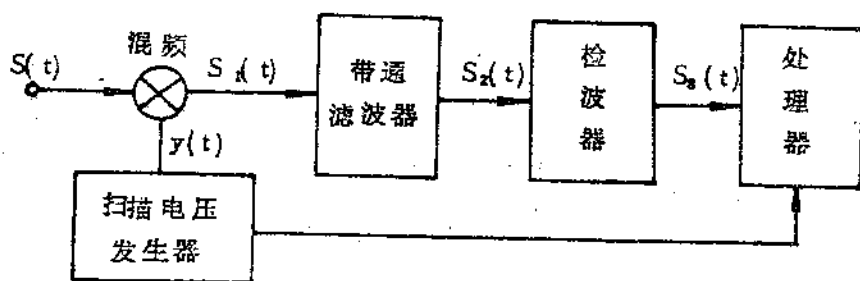
式中 $\omega_1 = \omega_s - \omega_0$

$\theta = \theta_s - \theta_0$

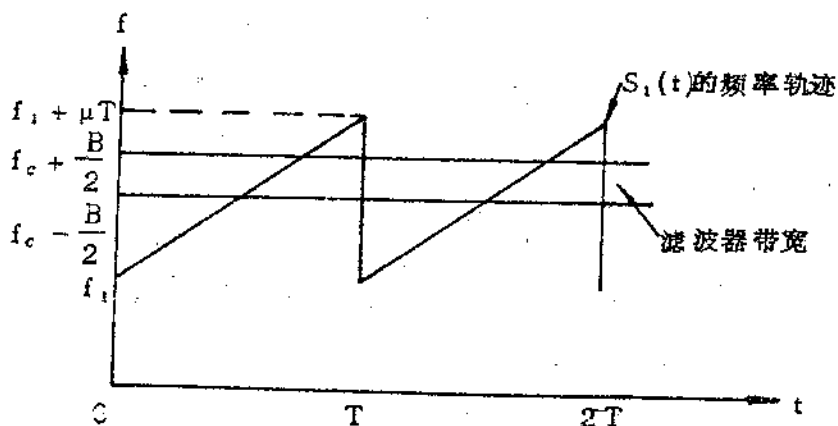
设带通滤波器的中心频率是 ω_c ,其冲击响应可表示为:



(a) 模拟搜索接收机



(b) 搜索接收机原理



(c) 搜索接收机的时间频率图

$$h(t) = 2h_1(t) \cos \omega_c t \quad (\text{式1-4})$$

式中 $h_1(t)$ 是低通滤波器的冲击响应。

那么带通滤波器的输出 $S_2(t)$ 为：

$$S_2(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_1(\tau) h(t-\tau) d\tau \quad (\text{式1-5})$$

使用式 1-3 和式 1-4 以及有关的三角关系式，式 1-5 变为：

$$S_2(t) = \frac{A}{2} \int_0^T h_1(t-\tau) \cos[(\omega_1 - \omega_c)\tau + \pi\mu\tau^2 + \theta + \omega_c t] d\tau \\ + \frac{A}{2} \int_0^T h_1(t-\tau) \cos[(\omega_1 + \omega_c)\tau + \pi\mu\tau^2 + \theta - \omega_c t] d\tau \quad (\text{式1-6})$$

因为带通滤波器是窄带滤波器，如图1-3(C)。可以看出，滤波器输出 $S_2(t)$ 只在扫描周期的部分时间内有效。因而式1-6 右边的第二个积分可以忽略，第一个积分的积分限可以开拓到 $\pm\infty$ 。这样，

$$S_2(t) = \frac{A}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} h_1(t-\tau) \cos(\omega_2\tau + \pi\mu\tau^2 + \theta_1) d\tau \quad (\text{式1-7})$$

式中 $\omega_2 = \omega_s - \omega_0 - \omega_c$

$$\theta_1 = \theta + \omega_c t_0$$

为了进一步简化式 1-7，假设带通滤波器是高斯带通滤波器，而传输函数

$$H_1(\omega) = \exp\left(-\frac{\omega^2}{4a^2} - j\omega\delta\right) \quad (\text{式1-8})$$

式中 a 是决定带宽的参数， δ 是滤波器时延，相应的冲击响应是：

$$h_1(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} H_1(\omega) e^{j\omega t} d\omega \\ = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \exp[-a^2(t-\delta)^2] \quad (\text{式1-9})$$

把式 1-1 代入式 1-7 并用复指数表示余弦，简化得：

$$S_2(t) = \operatorname{Re} \left\{ \frac{A_a}{2\sqrt{\pi}} \exp [-a^2(t-\delta)^2 + j\theta_1 + SC^2] \times \int_{-\infty}^{+\infty} \exp [-S(\tau+C)^2] d\tau \right\} \quad (\text{式1-10})$$

式中 $\operatorname{Re}(x)$ 表示取 x 的实部，且

$$S = a^2 - j\pi\mu$$

$$C = \frac{-2a^2(t-\delta) - j\omega_2}{2S} \quad (\text{式1-11})$$

可以算出式 1-10 中的积分：

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp [-S(\tau+C)^2] d\tau = \left(\frac{\pi}{S}\right)^{\frac{1}{2}}$$

并且 $\operatorname{Re}(S) > 0$ (式1-12)

于是可得到

$$S_2(t) = \operatorname{Re} \left\{ \exp [-a^2(t-\delta)^2 + j\theta_1 + SC^2] \frac{A_a}{2\sqrt{S}} \right\}$$

$$= S_3(t) \cos[\varnothing(t)] \quad (\text{式1-13})$$

式中

$$\varnothing(t) = \frac{4\pi a^4 \mu (t-\delta)^2 + 4a^4 \omega_2 (t-\delta) - \pi \mu \omega_2^2}{4(a^4 + \pi^2 \mu^2)} + \theta_1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \frac{\pi \mu}{a^2}$$

$$S_3(t) = \frac{A}{2} \left(1 + \frac{\pi^2 \mu^2}{a^4} \right)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{a^2(2\pi\mu t - 2\pi\mu\delta + \omega_2)^2}{4(a^4 + \pi^2 \mu^2)} \right]$$

(式1-14)

由图1-3(A)可以看出, $S_3(t)$ 就是 $S_2(t)$ 经检波后的输出。当

$$t = \delta - \frac{\omega_2}{2\pi\mu} = \delta + \frac{f_c - f_s + f_s}{\mu}$$

时, 得到 $S_3(t)$ 的峰值。

这样, 从峰值的时间位置, 就能估计出输入频率 f_0 。

$$f_0 = (t - \delta)\mu + f_s - f_c \quad (\text{式1-15})$$

这就是搜索式接收机能估计频率的原理。

令:

$$\alpha = \left(1 + \frac{\pi^2 \mu^2}{a^4}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (\text{式1-16})$$

和式 1-14 中的指数因子等于 $1/\sqrt{2}$, 就能确定 $S_3(t)$ 的半功率点。

$S_3(t)$ 在半功率点间的脉冲宽度是:

$$T_p = \frac{a(2 \ln 2)^{\frac{1}{2}}}{\pi\mu} \left(1 + \frac{\pi^2 \mu^2}{a^4}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (\text{式1-17})$$

频率分辨率 Δ 近似等于 μT_p , 即在脉冲宽度 T_p 期间的扫频范围。于是, 分辨率是

$$\Delta = \frac{a(2 \ln 2)^{\frac{1}{2}}}{\pi} \left(1 + \frac{\pi^2 \mu^2}{a^4}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{式1-18})$$

从式 1-8 可以得到以 Hz 表示的 3dB 功率谱带宽 B 与参数 a 的关系:

$$B = \frac{(2 \ln 2)^{\frac{1}{2}}}{\pi} a \quad (\text{式1-19})$$

用 B 表示 a 和 Δ , 则有

$$\alpha = \left(1 + 0.195 \frac{\mu^2}{B^4}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{式1-20})$$

$$\Delta = B \left(1 + 0.195 \frac{\mu^2}{B^4}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式1-21})$$

由式 1-21 可以确定使 Δ 取极小值的最佳滤波器带宽 B_0 和最小分辨率 Δ_0 :

$$B_0 = 0.66 \sqrt{\mu}$$
$$\Delta_0 = \sqrt{2} B_0 = 0.94 \sqrt{\mu}$$

(式1-22)

锯齿波电压产生器的输出除控制本级外, 还控制预选器, 使预选器的通频带配合本振频率的变化。此外锯齿波电压还加至扫描电路, 使之在显示器上能观察到指定频率范围内的敌台信号。为了确定被接收信号的频率, 显示器上还加有频标。频标信号是由本振信号经频标电路形成的。

(2)、搜索方法

前面讲过, 搜索接收机采用扫频本振实现搜索。下面比较深入地讨论一下搜索方法, 即扫描波形的实现方法。扫频本振是指本振频率从低到高的变化, 亦称为本振频率搜索(或本振频率调谐)。本振频率搜索的控制方法有两种:

- *模拟控制(也叫连续搜索);
- *数字控制(也叫步进式搜索、数字调谐)。

模拟控制又分为机械调谐和电调谐两种。

机械调谐是用伺服电机自动调整回路的可变电容器(或可变电感器)。

电调谐是采用变容二极管作本振回路的振荡电容器, 通过改变加在变容二极管两端的反向电压(锯齿波电压), 进而改变本振回路的电容量。

数字调谐可以是采用变容二极管作本振回路的振荡电容器, 通过改变加在变容二极管两端的反向电压, 进而改变本振回路的电容量。但反向电压不是连续的锯齿波电压, 而是由D/A变换器产生的阶梯波电压。采用变容二极管压控振荡器的步进式搜索如图1-4所示。

还有一种数字调谐不采用变容二极管压控振荡器, 而是采用微型计算机来控制频率合成器产生本振信号实现搜索, 控制预选器以选择信号, 控制扫描电路实现全景显示。

采用该数字调谐方法的数字搜索接收机如图1-5所示。由于采用了频率合成器和微机控制, 其扫描速度和频率分辨率较模拟式全景接收机均有所提高。另外还能根据实际信号环境对接收机实现最佳控制。