

内部读物 妥为保存

# 雷达接收设备的 抗干扰电路

第七教研室

通信兵雷达工程学院

一九六三年二月

## 說 明

“雷达接收设备” 课的教学大纲修订后，增添了一个新课题——雷达接收设备的抗干扰电路。这一课题的任务是研究各种干扰对雷达接收指示系统的影响，以及在接收指示系统中各种抗干扰电路的工作原理和有关的某些设计原理。至于其它各种抗干扰方法的原理和电路则在“雷达原理”和“信息论”等课程中讨论。由于缺乏有关这方面的教材，而且资料也比较零散，所以编写了本教材，以适应教学的急需。

本教材可分四个部分：（1）雷达抗干扰概述（§9.1）；（2）抗过载电路（§9.2—§9.6）；（3）抗有源干扰电路（§9.7—§9.12）；（4）抗无源干扰电路（§9.13—§9.18）。其中第（1）、（4）部分是由郑还同志编写的，第（2）、（3）部分是由章潜五同志编写的。最后由章潜五同志整理付印。由于有关这方面的知识贫乏，学术水平不高和编写时间的仓促，在整理过程中必定有不少缺点或错误，希望大家提出和指正，以便在正式定稿时予以修改。

# 目 录

## 說 明

### 第九章 雷达接收设备的抗干扰电路

- § 1. 雷达抗干扰概述..... 1
- § 2. 抗过载电路概述..... 12
- § 3. 瞬时自动增益控制电路(IAGC)..... 16
- § 4. 灵敏度时间控制电路(STC)..... 25
- § 5. 对数接收机..... 32
- § 6. 检波器平衡偏压电路(DBB)..... 48
- § 7. 抗有源干扰电路概述..... 55
- § 8. 抗等幅波干扰..... 55
- § 9. 抗正弦幅调波干扰电路..... 64
- § 10. 抗脉冲干扰电路..... 90
- § 11. 抗频调波干扰..... 100
- § 12. 抗噪声幅调波干扰..... 102
- § 13. 抗无源干扰电路概述..... 105
- § 14. 活动目标与固定目标反射信号的特点..... 106
- § 15. 动目标显示雷达的工作原理..... 116
- § 16. 动目标显示雷达的各个主要部件..... 121
- § 17. 动目标显示系统的工作质量..... 134
- § 18. 动目标显示雷达的组成举例..... 147

## 第九章 雷达接收设备的抗干扰电路

### §9-1 雷达抗干扰概述

#### (一) 雷达干扰的分类及其对雷达的影响

雷达可能受到的干扰按其来源可分为有源的和无源的。所谓有源干扰是指那些由辐射电磁波的物体所产生的干扰，属于这类干扰的有自然干扰（如大气放电、工业火花放电）和专门的干扰发射机产生的干扰。必须指出，因为雷达大多工作在超短波段，所以有源自然干扰对雷达的影响是很微弱的。所谓无源干扰，是指那些由反射电磁波的物体所产生的干扰，象地面物体的反射信号和敌人故意在空中施放的金属反射体的反射信号都属于无源干扰。

如果从干扰的目的来分，则可分为人为干扰和自然干扰。人为干扰是指各种由人工产生的有源和无源干扰

#### 1 人为无源干扰：

人为无源干扰是敌人利用具有反射电磁波性能的物体所产生的，它会在显示器上造成虚假回波，且把雷达真正要观察的目标隐蔽了起来。

常用的产生无源干扰的物体有：

- (1) 金属带或金属条；
- (2) 角反射体。

金属条或金属带常用铝箔制成，近来也采用在纸条或塑料上喷敷金属层制成的干扰带或干扰条，用这些物体产生的无源干扰常用来干扰地面对空雷达或海面对空雷达，而用飞机把这些物体

散布在空中。

干扰金属条的长度是根据所干扰的雷达波长而定的，大约为半波长，因此每一铝箔条相当一个半波天线，造成强烈的反射信号。为了加宽干扰的频率范围，把不同长度的铝箔条装在一起。铝箔条散布的速度根据施放干扰的飞机速度、风速、风向而定，大约在每分钟40米左右，逆风施放具有较好的干扰效果。铝箔干扰条在下降过程中大都变成水平，因此对水平极化的雷达的干扰更为有效；用飞机散放铝箔条干扰时，难于做到各个高度上都有干扰条存在。近来有采用火箭散放，并有使干扰条按高度连续分布的施放法出现。

图9.1(a)和(b)是雷达受到铝箔条干扰前后圆扫描距离显示器画面的图形。

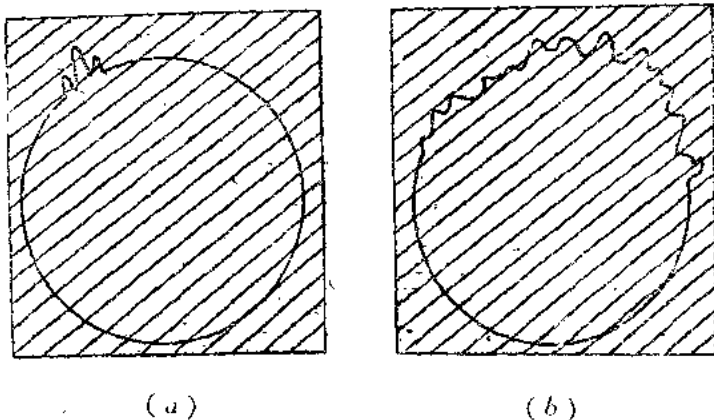


图9.1 受铝箔条干扰前后圆扫描显示器画面的图形

最后还要指出，对于防导弹的雷达来说，运载火箭爆炸的碎片成为雷达的严重无源干扰。

干扰金属条主要是用来干扰频率较高的雷达，而干扰金属带则主要是用来干扰频率较低的雷达。

角反射器既用来干扰地面雷达，也用来干扰空用雷达。干扰地面雷达时角反射器从飞机上扔出。这种反射体用铝箔制成，斜边长度一般不超过2~3米。干扰空用雷达时，反射器放在地面或水面上。

## 2 人为有源干扰：

人为有源干扰是利用专门的干扰发射机产生的，按照载波的调制方式可分为：

(1) 等幅波（未调波）干扰。这种干扰具有单一频率的频谱，它的实际频带也很窄，通常不超过0.5兆赫，因此只能作为瞄准式干扰使用。所谓瞄准式干扰是指干扰的频带很窄，因而必须随雷达频率的不同而变更干扰发射机的频率。

这种干扰对雷达接收系统的影响是减小了中频放大器对信号的放大量，因而使加到显示器的信号振幅有所降低。干扰严重时，还可能造成接收系统的过载，这时在距离显示器上可见目标回波和噪声全部消失，只留下一根明亮的扫掠线，而在环视显示器上则表现为一块扇形的盲区（图9.2）。同时，由于干扰和信号的相互作用，接收系统的输出信号将产生双端跳动现象（当干扰和信号频率相同时，由相位差的随机变化所引起）或波形失真（干扰和信号频率不同时，由差拍作用所引起）。双端跳动现象和波形失真都使信号的能见度降低。

由于等幅波干扰可以利用比较简单的方法来对付，现在已很少采用。

(2) 调幅干扰（幅调波干扰）。它是一个振幅按正弦电压调制的幅调波。在以低频正弦电压调幅时，这种干扰在距离显示器上呈现正弦波形的网状交织线，而在环视显示器上则呈现弯曲的车辐式花纹，如图9.3所示。

(1)：指显示视频信号的距离显示器，下同。

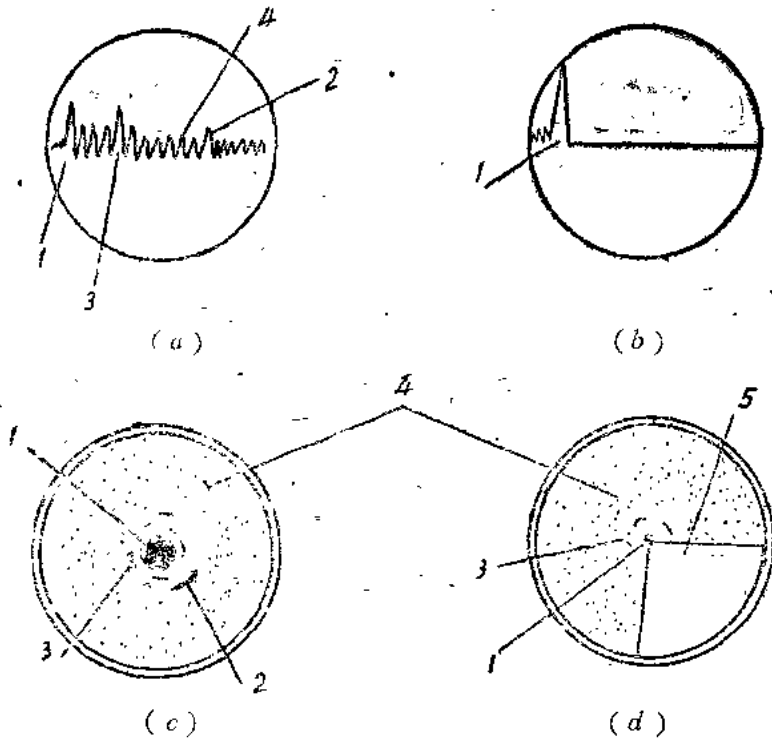


图9.2 等幅波干扰使接收机过载时,雷达显示器的画面图  
 (a)、(b)为干扰前后的距离显示器, (c)、(d)为干扰前后的环视显示器。

- 1. 发射脉冲;      2. 回波脉冲;      3. 地物反射脉冲;
- 4. 噪声;          5. 扇形暗区。

应该指出: 当正弦调幅电压的频率接近于圆锥扫描频率时, 会破坏雷达的自动跟踪。在以高频正弦电压调幅时, 这种干扰在距离显示器上呈现紧密排列的栅栏状脉冲序列, 而在环视显示器上则呈现蛛网状的串扰花纹, 它的亮度作周期性变化, 如图9.4所示。

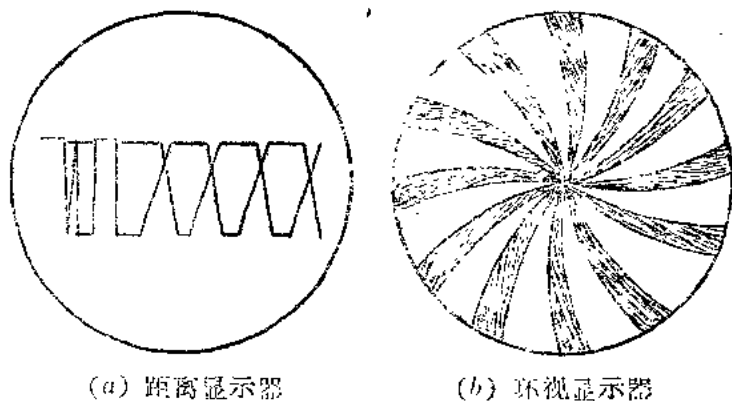


图 9.3 低频正弦调幅干扰在显示器画面上的图形

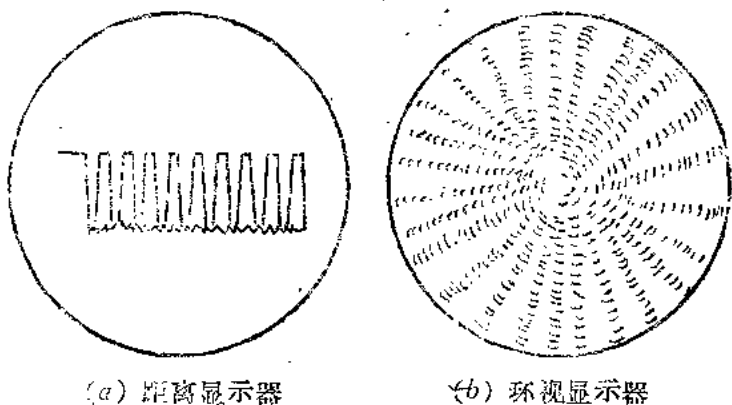


图 9.4 高频正弦调幅干扰在显示器画面上的图形

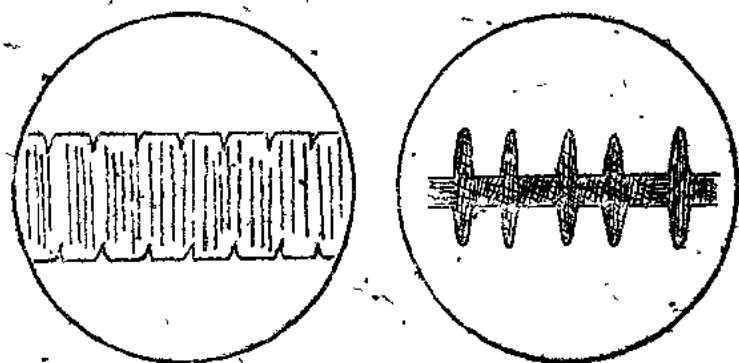
这种干扰的频带虽较等幅波干扰为宽,但仍然很窄,一般不超过 1~2 兆赫,它的干扰效果与等幅波干扰相同,也比较容易对付,一般也用得不多。

(3) 调频干扰(频调波干扰),它是一个频率受正弦电压调制的频调波。



如果干扰的频率偏移  $\Delta\omega$  小于接收机的带宽  $\Delta\omega_0$ ，则当干扰通过接收机的中频放大器时，频调波变为幅调波。这种干扰在距离显示器上的图形和低频调幅干扰有些相似，但是，区别在于调频干扰所呈现的图形随接收机的调谐而变。图 9.5(a) 是这种干扰在中频距离显示器上的图形(当接收机调谐到干扰的载频时)。

如果干扰的频率偏移大于接收机的带宽( $\Delta\omega > \Delta\omega_0$ )，那么当干扰通过中频放大器时将形成脉冲，在中频距离显示器上，这种干扰表现为成对的脉冲，如图 9.5(b) 所示。



(a) 第一类调频干扰

$$(\Delta\omega < \Delta\omega_0)$$

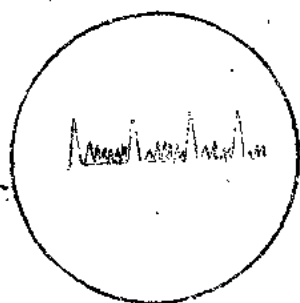
(b) 第二类调频干扰

$$(\Delta\omega > \Delta\omega_0)$$

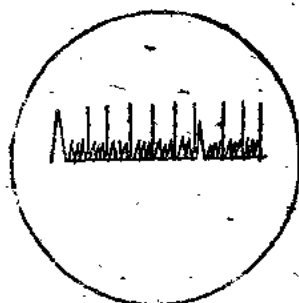
图 9.5 调频干扰在中频距离显示器画面上的图形

调频干扰的频带较调幅干扰为宽，因此它的干扰效果也较好。

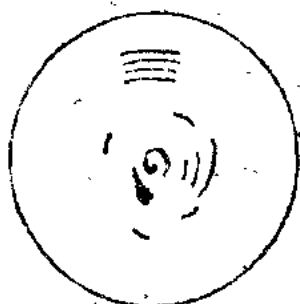
(4) 脉冲干扰。它是一个载波频率和雷达频率接近的高频脉冲序列，在一般情况下干扰脉冲序列和显示器是不同步的(异步脉冲干扰)，因此在距离显示器上扫描线呈现为一串移动着的脉冲。在环视显示器上呈现串式断续亮点。有时敌人还施放回基式脉冲干扰，即干扰机在收到雷达脉冲后才发出干扰脉冲(同步脉冲干扰)，这种干扰脉冲在显示器上呈现稳定的图形。受到脉冲干扰的雷达显示器的画面，如图 9.6 所示。



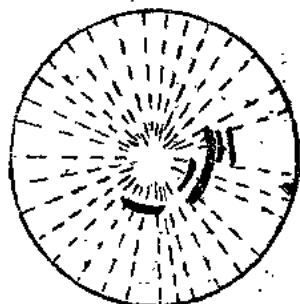
(a) 同步脉冲干扰，  
距离显示器；



(b) 异步脉冲干扰，  
距离显示器；



(c) 同步脉冲干扰，  
环视显示器；



(d) 异步脉冲干扰，  
环视显示器；

图 9.6 脉冲干扰在显示器画面上的图形

(5) 噪声干扰。分为噪声调幅干扰和噪声调频干扰两种，它们分别是振幅或频率受噪声电压调制的连续波。噪声调幅干扰的频谱由强载波和噪声边频带组成它的总带宽是调制电压带宽的两倍，一般可达到 5~6 兆赫。载波分量的作用与等幅波干扰相同。

噪声调频干扰具有更宽的频带，一般可达到 20~30 兆赫。所以它可以用作拦阻式干扰，当频率变化一个接收机带宽  $\Delta f_{\text{PII}}$  所经历时间近似地等于  $1/\Delta f_{\text{PII}}$  时，这种干扰的效果最大（这时对噪声脉冲来讲，接收机的通频带是最佳的）。

应该指出,通常这两种干扰是同时存在的,因为实际上在以噪声电压调幅时一定有附加的调频产生,反过来也是一样。宽的频带使噪声干扰成为最难对付的一种干扰。

噪声干扰在显示器上的图形,如图 9.7 所示,在距离显示器上它表现为茅草状的杂乱波形,和接收机内部噪声的波形相似,只是在强度上要大得多。在环视显示器上呈现边缘模糊的粉粒状的辉亮扇面。

如果干扰强到使接收机过载,则将出现边缘模糊的黑暗扇面。

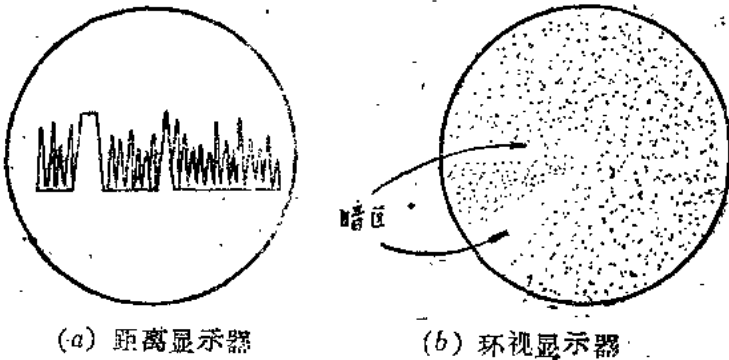


图 9.7 噪声干扰在显示器画面上的图形

由上所述,可以看出,干扰对雷达的影响是随干扰的类型、干扰的强弱程度及被干扰雷达的程式而不同的,其主要影响是:

- (1) 干扰与目标信号在接收指示系统内相混,破坏了目标信号的某些特性,因而降低了目标信号的能见度,使雷达发现目标的距离大为缩短;
- (2) 产生假信号,与目标信号相类似,妨碍观察和不易正确判断,造成错觉和漏情,或不能准确地进行跟踪;
- (3) 干扰很强时,会使接收指示系统①过载或截止,而完全看

① 这指示系统既包括雷达的视觉指示器,也包括各种自动跟踪和警报系统。

不到目标信号。最严重时，在距离显示器上只看到一根扫掠线，而在环视显示器上则什么也看不见。

造成上述影响(1)、(3)的原因将在下面详细地进行分析。

## (二) 雷达抗干扰的基本方法

雷达抗干扰的方法有两大类，一类是战术抗干扰法，其中包括：

(1) 消灭干扰源，即所谓积极抗干扰法。例如用火药力消灭载有干扰设备的飞机、军舰或破坏对方的地面干扰站等。

(2) 反雷达侦察，如缩短雷达的工作时间，配备平时不用的备用雷达等。

(3) 采取技术勤务的组织措施，如适当地配置不同性能的雷达构成雷达网，以避免同时所有雷达都受到干扰。或者在雷达受到干扰后采取措施以减轻干扰的影响程度等。

另一种抗干扰方法是技术抗干扰法，其中又分为不使干扰进入雷达接收机和干扰进入接收机后的抗干扰，在抗干扰的两类方法中，属于前一类方法的有：

(1) 提高发射机的功率和天线的增益；

(2) 空间选择法；

(3) 极化选择法；

(4) 频率选择法。

属于后一类方法的有：

(1) 采用抗过载电路；

(2) 按脉冲参数进行选择；

(3) 利用信号和干扰频谱的不同进行选择；

(4) 利用信号和干扰统计特性的不同进行选择；

(5) 利用信号和干扰载波相位的不同进行选择；

(6) 其它。

## 1. 不使干扰进入接收机的抗干扰法:

(1) 提高发射机功率和天线增益, 这种方法的实质在于提高信号干扰比, 使雷达所要观察的目标不致被施放的干扰所隐蔽。

当雷达发射机功率和发射天线的增益愈大时, 则在同样的干扰条件下, 信号干扰比愈大, 也就是雷达抗干扰能力愈高。

但是实际上用这种方法来抗干扰仍然是很困难的, 原因在于目标回波功率与距离的四次方成反比, 而干扰功率与距离的平方成反比, 所以当雷达发射机功率和发射天线的增益较大时, 信号仍然有可能被干扰所抑制。

还应指出, 用加大雷达发射机功率的方法并不能抑制无源干扰。加大雷达天线的增益时, 则因波束宽度随之变窄, 有时还有些好处。

(2) 空间选择法。此法在于减小由雷达天线波瓣宽度 (包括主波瓣和边波瓣在内) 和脉冲宽度所决定的空间容积, 从而减小受干扰的体积或面积, 以提高信号干扰比。但是雷达天线波瓣的宽度和脉冲宽度常由其它战术要求, 如距离和角度分辨率所决定, 所以主要地是减小天线的边波瓣来提高抗干扰能力, 因此需要正确设计天线和选择阵地, 以减小雷达边波瓣的影响, 有时为了减小雷达阵地附近物体对雷达波瓣的影响, 而这些物体上复以吸收电磁波的物质, 在必要时, 还可以采用屏蔽雷达天线边波瓣的方法来大大地减小受干扰的程度, 但这种方法的缺点是设备比较复杂。

空间选择法可用于抑制人为有源和无源干扰。

## (3) 极化选择法,

当信号的极化与接收信号的天线的极化不同时, 所收到的信号将减弱, 甚至完全不能接收, 因此, 当信号与干扰的极化不相同时, 可以选择接收天线的极化方式来提高信号干扰比。

对于旋转极化的干扰信号, 还可以采取极化变换器进行反干

扰。

极化选择法具体应用于反雨雾干扰。这时天线辐射圆极化波。假使它是右旋方向的，那么由于水滴的构造是对称和各向同性的，反射波仍然是圆极化的，但是它的旋转方向将变成左旋的。根据互易定理，接收天线只能接收右旋极化波，因此雨滴的干扰被大大减弱。

对于要观察的目标，由于它不是各向同性的，因此反射波将是椭圆极化的，椭圆极化波可以分解成一个右旋的和一個左旋的圆极化波，因此将有一部分为接收天线所接收。

实际上，当工作频率为1300兆赫时，采用圆极化波的结果可以使信号干扰比改善15~20分贝。但是在信号干扰比改善的同时，信号的强度减弱了6~8分贝，这使得信号对接收机内部噪声的比值降低了，从而减小了雷达的作用距离，因此，在沒有必要的情况下是不采用这种极化选择法的。

(4) 频率选择法。它利用信号和干扰载波频率的差别来抑制干扰。常用的有：跳变雷达的发射机工作频率（相应地跳变接收设备的频率），采用多波道雷达发射机和接收机，以及隐蔽雷达使用的频率等方法。

跳变雷达工作频率的方法是比较有效的反干扰方法之一。

目前，跳变频率的方法有两种：机械跳频和电子跳频，后一种具有较高的跳频速度，因而能更有效地对付干扰。例如：利用机械方法改变磁控管调谐所需时间约为0.1秒，而用电子注改变调谐时间就可以更小。

应当注意，采用跳频法反干扰时必须同时改变雷达发射系统、接收系统和天线馈线系统的调谐，因此大量器件的统调是采用这一方法的缺点和困难。

## 2. 干扰进入接收机后的反干扰法：

(1) 采用抗过载电路。干扰对雷达的主要影响之一，就是使

接收机过载，因此在雷达接收机中通常都采用了各种抗过载电路，例如：瞬时自动增益控制电路、时间增益控制电路，和具有线性——对数振幅特性的接收机等。

(2) 按脉冲参数进行选择。这种方法主要是用于反脉冲干扰，对脉冲的选择可以根据脉冲振幅、脉冲宽度或脉冲重复频率的不同进行选择，也可以同时从几方面进行选择。

(3) 利用信号和干扰频谱的不同进行选择，例如，为了抗等幅波干扰和低频调幅干扰可以采用简单滤波器，为了抗噪声干扰，可以采用梳形滤波器等。

(4) 利用信号和干扰的统计特性的不同进行选择。例如可以采用极累电路来抗噪声干扰等。

(5) 利用信号和干扰载波相位的不同进行选择。例如在动目标显示系统中的相干脉冲法。

(6) 其它方法，例如利用信号和干扰本身的统计关系进行选择的相关接收法等。

关于干扰进入接收机后的各种反干扰方法将在以后各节中着重讨论。

由上述可知，所有的技术反干扰方法都是根据信号和干扰的某种差别来进行选择的，因此对雷达威胁最大的干扰也就是那些在特性上与信号最接近的干扰。目前使用较广泛的人为干扰是：

- (1) 在米波段是带宽为数兆赫的噪声调幅干扰；
- (2) 在厘米波段是带宽为数十兆赫的噪声调幅调频干扰；
- (3) 在各波段有金属带或金属条(在米波段为纸条，在厘米波段为塑料条)所产生的无源干扰。

### §9-2 抗过载电路概述

我们知道，雷达接收的有用信号是从目标反射回来的反射波，而雷达接收的人为有源干扰是从干扰发射机辐射的直射波，

因此在一般情况下干扰都是远大于有用信号，这就使得任何一种人为有源干扰都可能使雷达接收机产生过载，可能是中频放大器过载，也可能是视频放大器过载。当产生过载时，在显示器上的回波信号和噪声将会减小，甚至会完全消失(见图 9.2)，因此为使雷达能正常工作，首先，必须注意防止雷达接收指示系统的过载，这就要求在设计接收指示系统时必须考虑抗过载的问题。

下面我们介绍一下中频放大器和视频放大器的过载现象，以及可能采取的一些抗过载措施。

中频放大器过载的现象是：最初输出电压的振幅随输入电压振幅的增大而增大，然后停止增大，而最后输出电压的振幅开始慢慢下降，如图 9.8 所示。也就是说，当输入电压的振幅逐渐增大时，在振幅特性曲线上将出现一个转折点，这是由于放大管的阳极电流会随栅极电压的变化而出现一个转折点所致，当栅极电压为负值时，阳极电流会随栅极电压的增大而增大，但当栅极电压达到一定的正值时，出现较大的栅流，栅极电压再继续增大时，放大管各个电极的电流分配比例也发生变化，栅极电流很快地增长，而阳极电流反而逐渐地减小，因而在放大管的阻流——栅压特性曲线上出现了一个转折点，这个转折点有时也称为放大管的饱和点。与这转折点对应的输入电压振幅为  $U_{a0}$ ，当栅极上的输入电压振幅  $U_{max} \geq U_{a0}$  时，栅极导通，放大管就处于过载状态。

当输入电压的振幅有一无限小的变化时，输出电压振幅的变化由振幅特性曲线上该点的斜率  $K_d = \frac{dU_{out}}{dU_{max}}$  决定，我们称  $K_d$  为增量放大量。当一个放大级的振幅特性曲线如图 9.8 所示时，其增量放大量与输入电压振幅的关系如图 9.9 所示。



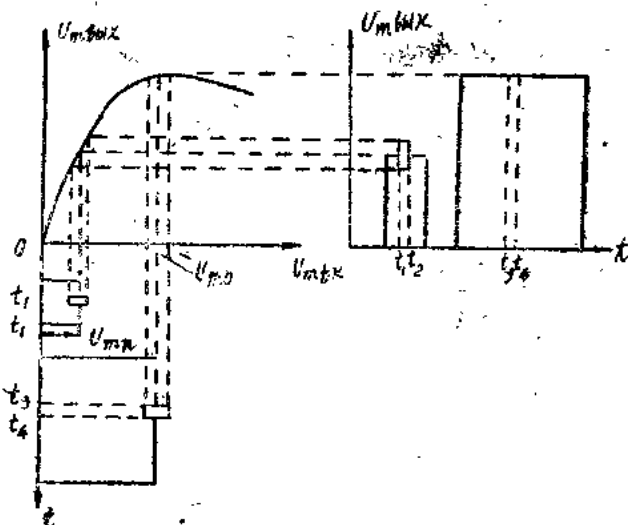


图 9.8 在过载时, 信号和干扰通过放大级的情况

当干扰作用的时间内有回波信号出现时, 回波信号将使输入电压的振幅产生一个增量, 增量的数值要看信号和干扰的相位关系而定, 对直线性检波而言, 它可以是  $+U_{mc}$  和  $-U_{mc}$  之间的任何数值 ( $U_{mc}$  是信号电压振幅)。当干扰振幅较小时 (图 9.8 中的  $U_{m0}$ ), 由信号脉冲所引起的增量将在荧光屏上产生可见信号。如果干扰振幅增大到  $U_{m0}$ , 那么当回波信号很弱时, 输出电压的振幅就不会因为输入电

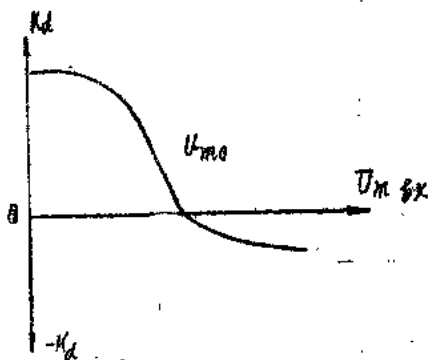


图 9.9 增量放大量与输入电压振幅的关系图