

## 第六章 遮盖性干扰

侦察是基础、前提，干扰是目的。

### § 6.1 概述

雷达工作原理，干扰的引入(有源干扰，无源干扰，隐身技术)

#### 一. 干扰作用与分类

1. 作用：降低 S/N 造成的检测困难

2. 分类： $f_j$  ,  $\Delta f_j$  ,  $f_s$  ,  $\Delta f_r$  。

(1) 瞄准式干扰  $f_j \approx f_s$ ,  $\Delta f_j = (2 \sim 5)\Delta f_r$       能量集中；

(2) 阻塞式干扰  $\Delta f_j > 5\Delta f_r$ ,      宽带干扰；

(3) 扫频式干扰  $\Delta f_j = (2 \sim 5)\Delta f_r$ ,  $f_s = f_j(t)$ ,  $i$  宽带集中，能量分时

#### 二. 效果度量

干扰效果：雷达或含有雷达的作战系统由于受到干扰而造成的作战性能的下降。

雷达功率准则: \*\*\*\*\*一定时， $P_d$  的变化。

系统作战\*\*\*\*\*:

压制系数：
$$K_a = \frac{P_j}{P_s} \Big|_{P_d=0.1}$$

#### 三. 最佳干扰波形

熵：
$$H(x) = - \sum_{i=1}^m P_i \log_a P_i$$
      离散条件；

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_a p(x) dx$$
      连续条件。

函数方程：
$$\Phi = \int_a^b F(x, p) dx$$
      x - 变量，p 函数，

限制条件：

$$\begin{cases} \int_a^b \varphi_1(x, p) dx = C_1 \\ \int_a^b \varphi_2(x, p) dx = C_2 \\ \vdots \\ \int_a^b \varphi_m(x, p) dx = C_m \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial p} + I_1 \frac{\partial f_1}{\partial p} + \dots + I_m \frac{\partial f_m}{\partial p} = 0 \\ \int_a^b F(x, p) dx = a \end{cases}$$

$$\begin{cases} H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \ln p(x) dx \\ \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1 \\ \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx = \sigma^2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} F = - p(x) \ln p(x) \\ \varphi_1 = p(x) \\ \varphi_2 = x^2 p(x) \end{cases}$$

$$\therefore -\ln P(x) - 1 + I_1 + I_2 x^2 = 0 \Rightarrow P(x) = e^{I_2 x^2 + I_1 - 1}$$

$$\int_{-x}^x e^{I_2 x^2 + I_1 - 1} dx = 1 = e^{I_1 - 1} \int_{-x}^x e^{I_2 x^2} dx = 2e^{I_1 - 1} \frac{\sqrt{p}}{2\sqrt{-I_2}}$$

$$\int_{-x}^x x^2 P(x) dx = \int_{-x}^x x^2 e^{I_2 x^2 + I_1 - 1} dx = 2e^{I_1 - 1} \frac{1}{4(-I_2)} \sqrt{\frac{p}{-I_2}} = s^2$$

$$\therefore \frac{1}{-2I_2} = s^2 \rightarrow I_2 = \frac{-1}{2s^2}$$

$$e^{I_1 - 1} = -\frac{\sqrt{\frac{1}{2s^2}}}{\sqrt{p}} = \frac{1}{\sqrt{2ps^2}}$$

$$\therefore P(x) = \frac{1}{\sqrt{2ps}} e^{-\frac{x^2}{2s^2}} \quad \dots\dots \text{为正态分布}$$

$$H_{\max}(x) = \ln \sqrt{2ps^2}$$

限幅条件下，均匀分布影响\*\*\*\*\*熵

$$\text{噪声质量因素: } h_n = \frac{P_{j_0}}{P_j} \Big|_{H_j = H_{j_0}} = \frac{\text{理想噪声的干扰功率}}{\text{实际噪声的干扰功率}} \Big|_{\text{相同干扰因子}} \ll 1$$

## § 6.2 射频噪声干扰

窄带高斯过程： $J(t) = U_n(t) \cos[\omega_j t + \phi(t)]$  称为射频噪声干扰。

一、对雷达接收机的作用。 $f_j, \Delta f_j, f_s, \Delta f_r, s_j^2$

$$G_j(f) = \begin{cases} \frac{\sigma_j^2}{\Delta f_j} & |f - f_j| \leq \frac{\Delta f_j}{2} \\ 0 & \text{其它 } f \end{cases}$$

DINA

$$B_i(\tau) = \int_0^\infty G_i(f) \cos 2\pi f \tau df = \sigma_i^2 \frac{\sin \pi \Delta f_r \tau}{\pi \Delta f_r \tau} \cos 2\pi f_i \tau$$

$$s_i^2 = \frac{\Delta f_r}{\Delta f_j} s_j^2$$

中频输出包络，视频输出服从瑞利分布  $s_v^2 = K_d^2 s_i^2$ ， $P_v(U_v) = \frac{U_v}{s_n^2} e^{-\frac{U_v^2}{2s_v^2}}$ ，

$U_v \geq 0$

$$U_a = \bar{U}_v = \int_{-\infty}^{\infty} U_v p_v(U_v) dU_v = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_v$$

$$P_i = \bar{U}_v^2 = \int_0^\infty U_v^2 P(U_v) dU_v = 2\sigma_v^2$$

$$P_e = \bar{U}_v^2 - U_a^2 = \left[ 2 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right] \sigma_v^2 = 0.43 \sigma_v^2$$

$$B_v(\tau) = \frac{\pi K_d^2}{2} \sigma_i^2 \left[ 1 + \frac{\pi}{2} r_i(\tau) + \frac{1}{2} r_i^2(\tau) + \frac{1}{24} r_i^4(\tau) + \dots \right]$$

$$\approx \frac{P}{2} s_v^2 \left[ 1 + \frac{r_0^2(t)}{4} \right]$$

$$r_0(\tau) = \frac{\sin \pi \Delta f_r \tau}{\pi \Delta f_r \tau}$$

$$G_v(f) \approx \pi \sigma_v^2 \delta(f) + \frac{\sigma_v^2}{4\Delta f_r^2} (\Delta f_r - f) \quad 0 \leq f \leq \Delta f_r$$

当有信号存在时：
$$p_i(U_i) = \frac{U_i}{\sigma_i^2} e^{-\frac{U_i^2 + U_s^2}{2\sigma_i^2}} I_0\left(\frac{U_i U_s}{\sigma_i^2}\right) \quad U_i \geq 0$$

二. 对信号检测的影响

$$K_a = \frac{I(n)}{q_0} \quad q_0 : h_d = 0.1 \text{ 是的信噪比}; \quad I(n) : \text{脉冲积累改善因子。}$$

1. 干扰信号波形的影响:  $Ka = Ka_0 / h_n$

2. 信号处理方法:  $Ka = Ka_0 \cdot I(n)$  or  $Ka = Ka_0 \cdot D_c$

3. 检测方法的影响: 人工, 自动。

### § 6.3 噪声调幅干扰

$$J(t) = [U_0 + U_n(t)] \cos[\omega_j t + \varphi]$$

一. 系统特性:

$$B_j(\tau) = \frac{1}{2} [U_0^2 + B_n(\tau)] \cos \omega_j \tau$$

$$P_i = \frac{U_0^2}{2} \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_n}{U_0} \right)^2 \right] = P_0 (1 + m_{Ac}^2)$$

$m_{Ac}$ : 有效调制系数,  $m_A = \frac{u_{\max}}{v_0}$ ,  $m_{nc} = \frac{1}{K_c} = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。

$$\begin{aligned} G_j(f) &= 4 \int_0^{\infty} B_j(\tau) \cos 2\pi f \tau d\tau \\ &= \frac{U_0^2}{2} \delta(f - f_j) + \frac{1}{4} G_n(f_j - f) + \frac{1}{4} G_n(f - f_j) \end{aligned}$$

旁频功率:  $P_{sl} = \frac{S_n^2}{2} = P_0 m_{Ac}^2 = P_0^2 \left( \frac{m_A}{K_c} \right)^2 \leq P_0 \frac{1}{9 \sim 16} P_0$

限幅提高旁频功率 → 天花板效应。

二. 对接收机的作用  $U_n(t) \quad S_n^2$

1.  $f_j = f_0$  
$$P_u = \frac{\sigma_n^2 \Delta f_r}{2 \Delta f_j}$$

新的调制噪声功率为: 
$$S_n^2 = \frac{\Delta f_r}{\Delta f_j}$$

中频输出调幅服从高斯分布，包络也是高斯分布。

$$2. |f_j - f_0| = \frac{1}{2} \Delta f_r$$

谱能量非对称进入接收机。中放输出的包络分布近似为高斯分布。

$$3. |f_j - f_0| > \frac{1}{2} \Delta f_r, \quad \text{中放输出噪声包络服从锐利分布。}$$

### 三. 对信号检测的影响

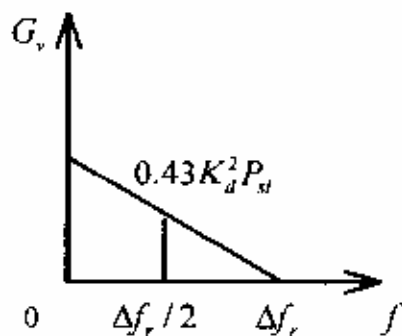
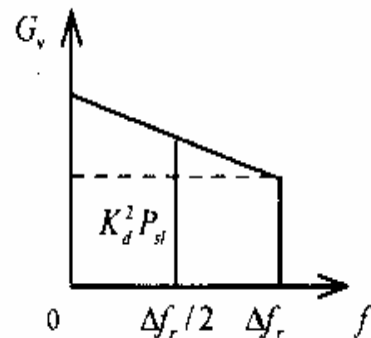
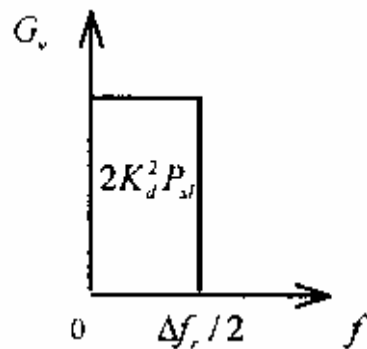
#### 1. 检测器输出的能量谱

$$\delta f = |f_j - f_0| \quad df > 0$$

$$U_v(t) = K_d [U_0 + U_n(t)]$$

$$B_v(\tau) = K_d^2 U_0^2 + K_d^2 B_n(\tau)$$

\*\*\*\*\*公式\*\*\*\*\*



#### 2. 载波的影响

$$u_j(t) = U_j \cos(\omega_j t + \phi_j), \quad |$$

$$u_s(t) = U_s \cos(\omega_s t + \phi_s), \quad |$$

$$U(t) = U_j \left[ 1 + \frac{U_s^2}{2U_j^2} + \frac{U_s}{U_j} \cos(\Delta \omega t + \Delta \phi) \right]$$

$v_j > v_s$

$$U(t) = \sqrt{U_j^2 + U_s^2 + 2U_j U_s \cos(\Delta \omega t + \Delta \phi)}$$

$$\left(\frac{P_s}{P_j}\right)_0 = \frac{\left(\frac{U_s^2}{2U_j}\right)^2}{U_j^2} = \frac{1}{4} \left(\frac{U_s^2}{U_j^2}\right)^2 \quad \text{信噪比损失。}$$

### 3. 限幅的影响

限幅降低遮盖性能，而  $\Delta f_j > \Delta f_r$  时，对限幅的影响有所改善，天花板效应降低。

$$K_{aAm} = \frac{P_j'}{P_j} = \frac{P_{sl}}{m_{Ac}^2 P_s} = \frac{F_c P_j}{2m_{Ac}^2} K_a \approx (4 \sim 4.5) K_a$$

## § 6.4 噪声调频干扰

$$J(t) = U_j \cos \left[ \omega_j t + 2\pi K_{FM} \int_0^t u(t') dt' + \varphi \right]$$

### 一. 系统特性

$$E[J(t)] = 0$$

$$E[J(t)J(t+\tau)] = \frac{U_j^2}{2} E\{\cos[\theta(t+\tau) - \theta(t)]\}$$

$$\theta(t) = \omega_j t + 2\pi K_{FM} e(t), \quad e(t) = \int_0^t u(t') dt'$$

$$B_j(\tau) = \frac{U_j^2}{2} e^{-\frac{\sigma^2(\tau)}{2}} \cos \omega_j \tau$$

$\sigma^2(\tau)$  为调频函数  $2\pi K_{FM}[e(t+\tau) - e(t)]$  的方差，

$$\sigma^2(\tau) = 4\pi^2 \cdot 2K_{FM}^2 [B_e(0) - B_e(\tau)]$$

$$G_n(f) = \begin{cases} \frac{\sigma_n^2}{\Delta F_n} & 0 \leq f \leq \Delta F_n \\ 0 & \text{其它 } f \end{cases}$$

$$G_e(f) = \frac{1}{(2\pi f)^2} G_n(f)$$

$$\sigma^2(\tau) = 2m_{fe}^2 \Delta \Omega_n \int_0^{\Delta \Omega_n} \frac{1 - \cos \Omega \tau}{\Omega^2} d\Omega$$

$$\Delta \Omega_n = 2\pi \Delta F_n, \quad m_{fe} = K_{FM} \sigma_n / \Delta F_n = f_{de} / \Delta F_n$$

$$\begin{aligned} G_j(\omega) &= 4 \int_0^{+\infty} B_j(\tau) \cos \omega \tau d\tau \\ &= U_j^2 \int_0^{+\infty} \cos(\omega_j - \omega) \tau \exp \left[ -m_{fe}^2 \Delta \Omega_n \int_0^{\Delta \Omega_n} \frac{1 - \cos \Omega \tau}{\Omega^2} d\Omega \right] d\tau \end{aligned}$$

1. 当  $m_{fe} \gg 1$  时

$$\cos \Omega \tau \approx 1 - \left( \frac{\Omega \tau}{2} \right)^2$$

$$G_j(f) = \frac{U_j^2}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi} f_{de}} e^{-\frac{(f-f_j)^2}{2f_{de}^2}}$$

准线性。

$$P_j = \int_{-\infty}^{+\infty} G_j(f) df = \frac{U_j^2}{2}$$

$$\Delta f_j = 2 \sqrt{2 \ln 2} f_{de} = 2 \sqrt{2 \ln 2} K_{FM} \sigma_n$$

2.  $m_{fe} \ll 1$

$$(1 - \cos \Omega \tau) / \Omega^2 \approx (\sin y / y)^2$$

$$y = \Omega \tau / 2$$

$$\int_0^{+\infty} \left( \frac{\sin y}{y} \right)^2 dy \approx \frac{\pi}{2}$$

$$G_j(f) = \frac{U_j^2}{2} \frac{\frac{f_{de}^2}{2\Delta F_n}}{\left( \frac{\pi f_{de}^2}{2\Delta F_n} \right)^2 + (f - f_j)^2}$$

$$\Delta f_j = \frac{\pi f_{de}^2}{\Delta F_n} = \pi m_{fe}^2 \Delta F_n$$

3.  $m_{fe}$  介于 1、2 情况之间

$$m_{fe} \geq 0.2r, \quad \Delta f_j = 2\sqrt{2 \ln 2} K_{FM} \sigma_n$$

$$m_{fe} \leq 0.2r, \quad \Delta f_j = \pi m_{fe}^2 \Delta F_n$$

二. 对雷达接收机的作用

1. 窄带干扰：调幅调频波

2. 宽带干扰：间隔随机，宽度随机的等幅脉冲序列

当考虑量化响应时间时，输出为高斯过程 要求  $\Delta F_n \geq (5 \sim 10) \Delta f$ ,

单方向通过通带  $t_x = \int_{f_0 - \frac{\Delta f_r}{2}}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} f_{de}} e^{-\frac{(f-f_0)^2}{2f_{de}^2}} df = \frac{1}{2} [1 - \Phi(x_0)]$

$$x_0 = \frac{\Delta f_r}{2f_{de}}, \quad \Phi(x_0) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

随机脉冲的平均数  $\bar{N}$

$$\text{平均间断时间} \quad \theta = \frac{t_z}{\bar{N}} = \frac{\sqrt{3} [1 - \Phi(x_0)]}{2\Delta F_n} e^{-\frac{1}{2}x_0^2}$$

### 三. 对信号检测的影响

1. 瞄频干扰  $(\Delta f_j)_{\text{opt}} = 2 \sqrt{2 \ln 2} f_{de} = 1.73 \Delta f_r$

2. 阻塞干扰 均匀噪声  
 变换： 高斯  $\rightarrow$  均匀  
 (1) 正弦 + 噪声。

### 3. $\Delta F_n$ 的影响

$\Delta F_n$  小： 中放输出是等幅、随机宽度的脉冲（可以建立稳定振荡）；

$\Delta F_n$  大： 高斯过程。

4.  $K_{\text{aFM}} = \frac{1}{0.5} K_a = 2K_a$

## § 6.5 噪声调相干扰

$$J(t) = U_j \cos[\omega_j t + K_{\text{PM}} u(t) + \varphi]$$

### 一. 系统特性

$$D = K_{\text{PM}} \sqrt{n} \quad \text{有效相移}$$

$D \gg 1$  时

$$G_j(f) = \frac{U_j^2}{2} e^{-D^2} \delta(f - f_j) + \frac{U_j^2}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi(D^2 \Delta F_n^2 / 3)}} e^{-\frac{(f - f_j)^2}{2D^2 \Delta F_n^2 / 3}}$$

$$P_j = \frac{U_j^2}{2} = P_0$$

$$\Delta F_i = 1.36 D \Delta F_n$$

$D \ll 1$  时

$$G_0(f) = \begin{cases} \frac{U_j^2}{2} \left[ e^{-D^2} \mathbf{d}(f - f_j) + \frac{e^{-D^2} D^2}{2\Delta F_n} \right] & |f - f_j| < \Delta F_n \\ 0 & |f - f_j| > \Delta F_n \end{cases}$$

$$h_j = \frac{U_j^2}{2} = P_0$$

$$\Delta F_j = 2\Delta F_n$$



形成窄带干扰

## 二. 影响因素

$D \gg 1$  调频误差 , 频谱变大  $\Delta F_n$

## § 6.6 脉冲干扰

### 1. 规则脉冲干扰

{ 同步干扰 欺骗  
{ 异步干扰 遮盖

### 2. 组合干扰

- (1) 噪声 + 脉冲
- (2) 交替使用调频脉冲干扰  
ex : 1. 4。