

選擇運動目標的 雷達定位法

巴古列夫編著



國防工業出版社

選擇運動目標的 雷達定位法

巴古列夫編著

北克航空學院翻譯室譯



國防工業出版社

1959

內 容 簡 介

本書闡述了基本的選擇運動目標的雷達定位法(СДЦ)及其在選擇運動目標系統中的應用;介紹了運動目標信號、固定目標信號與干擾信號的特性;研究了補償固定目標信號的方法;分析了各種СДЦ系統的工作性能;探討了影響選擇設備工作質量的因素以及提高СДЦ雷達站選擇質量的方法。

П. А. Бакулев 著 Радиолокационные методы селекции движущихся целей(Обorongиз 1958年第1版)

*

國防·重工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張3 $\frac{12}{16}$ 78千字

1959年6月第一版

1959年6月第一次印刷

印數: 0,001—6,100冊 定價: (11) 0.59元

NO. 2973

目 录

前言.....	(4
緒言.....	(5
第一章 固定目标与运动目标信号的特点.....	(6
第二章 选择运动目标的基本雷达定位法.....	(17
第三章 运动目标的指示方法.....	(44
第四章 固定目标信号的补偿.....	(47
第五章 获得相干振荡和比较相干振荡的方法.....	(76
第六章 选择运动目标系统的工作质量.....	(85
第七章 选择系统本身运动时对运动目标的选择.....	(115

選擇運動目標的 雷達定位法

巴古列夫編著

北克航空學院翻譯室譯

國防工業出版社

1959

內 容 簡 介

本書闡述了基本的選擇運動目標的雷達定位法(СДЦ)及其在選擇運動目標系統中的應用;介紹了運動目標信號、固定目標信號與干擾信號的特性;研究了補償固定目標信號的方法;分析了各種СДЦ系統的工作性能;探討了影響選擇設備工作質量的因素以及提高СДЦ雷達站選擇質量的方法。

П. А. Бакулев 著 Радиолокационные методы селекции движущихся целей(Обorongиз 1958 年第 1 版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $1/32$ 印張 3 $12/16$ 78 千字

1959 年 6 月第一版

1959 年 6 月第一次印刷

印數: 0,001—6,100 冊 定價: (11) 0.59 元

NO. 2973

目 录

前言.....	(4
緒言.....	(5
第一章 固定目标与运动目标信号的特点.....	(6
第二章 选择运动目标的基本雷达定位法.....	(17
第三章 运动目标的指示方法.....	(44
第四章 固定目标信号的补偿.....	(47
第五章 获得相干振荡和比較相干振荡的方法.....	(76
第六章 选择运动目标系統的工作質量.....	(85
第七章 选择系統本身运动时对运动目标的选择.....	(115

前 言

目前選擇运动目标和提高雷达站对无源干扰的抗干扰性的問題，在工程实践当中具有很大的意义。

但是到目前为止，在科技文献里，还没有出現系統地闡述这一部分雷达技术的著作。

为了满足高等学校无綫电系的同学們对選擇运动目标的資料方面的需要，所以編成本書，以講述“雷达原理”課程中的这一节。

本書中除利用了作者的原始材料以外，还利用了一系列国内外的書籍及杂志上公布过的材料（所用文献和索引列举于本書后面）。

本書涉及的問題相当广泛。由于篇幅有限，所以在某些地方对材料仅作了極其簡明的概要的闡述。由于这个原因，在某些情况下，指出了原始材料的索引，在原始材料里，对問題的闡述比較完整。

按闡述的水平来講，本書适用于熟悉了高等学校无綫电系教学大綱範圍內規定的无綫电技术，脉冲技术和收、發技术及超高频通道的技术的同学們。

本書所研究的材料不仅对于高等学校中无綫电系高年級同学有用，而且对于在这方面工作的專家也有用。

作者对教研室主任，副教授A. Г. 沙依別列致以謝意，由于他的倡議才完成了这项工作。同时作者对工程师M. Б. 戴宁也致以謝意，他对本書中所涉及的許多問題，提出了寶貴的意見。

讀者如能對本書提出批評意見，作者將不勝感激。

緒 言

選擇運動目標的雷達站 (СДЦ) 通常用來從各種目標的反射信號里區分出運動目標的信號。

在普通雷達指示器的螢光屏上，從運動目標附近的固定物體的反射信號里辨別出運動目標的反射信號，是比較困難的。固定物體反射信號在雷達站指示器的螢光屏上通常產生一定的干擾背景，因此可能遮蓋了運動目標的有用反射信號。

干擾物體一般稱為周圍物體，即位於某一地區里的固定物體。許多周圍物體信號的變化是相當劇烈的，這是因為甚至在風力很弱時發射信號的灌木叢、樹林和雲層表面和水面，變化也很大的緣故。換句話說，周圍物體信號的起伏現象使得區分信號的任務，即選擇運動目標的信號的任務變得相當複雜。

如果選擇運動目標的雷達站本身是安裝在運動物體上面，如安裝在飛機上、軍艦上等等，則解決這個任務變得更加複雜，因為在這種情況下，周圍物體與雷達站本身存在相對運動，所以要消除這些物體的信號就比較困難。但是在這種情況下，如果對選擇運動目標的雷達站進行一定改進，保證僅僅觀察運動目標，並且補償掉雷達站本身運動的效應，則仍可以解決選擇的任務。

第一章 固定目标与运动 目标信号的特点

大家知道,在雷达中可以利用三种基本的无线电信号:未經調制的等幅信号,頻率調制信号,脉冲調制信号。

信号从目标反射回来以后由雷达站接收設備接收,借以确定出目标的坐标,主要是确定距离。由于所应用的信号种类不同,通常可以根据發射信号和反射信号的某种差別进行測距。

發射信号与反射信号的差別如下:

在利用未經調制的等幅信号时直达信号与反射信号的相位不同。

在利用調頻信号时,直达信号与反射信号的瞬时頻率不同。

在利用脉冲調制信号时,探測脉冲与反射脉冲之間有时间差。

大家知道,任何无线电信号質量的基本特性乃是時間特性〔即 $u = u(t)$ 〕和頻率特性或者是頻譜特性〔即 $u = u(\omega)$ 〕。

上述信号的特性在“无线电基础”課程中已經詳細的闡述过了^{●,●}。当这些信号从固定目标反射时,如果保持下列关系

● Б. П. Асеев, Основы радиотехники, Связьиздат, 1947.

● Н. Н. Крылов, Теоретические основы радиотехники, изд. «Морской транспорт», 1953.

$$\frac{c\tau}{2} > l_u, \quad (1.1)$$

式中 τ —— 脉冲宽度；

l_u —— 目标的纵向线性尺寸，

則根据傅立叶变换理論的滞后定理，这些信号的頻譜是固定不变的。

如果 $\frac{c\tau}{2} < l_u$ ，則脉冲宽度增加。所以如果滿足下列关系

$$\frac{c\tau}{2} < l_u, \quad (1.2)$$

則由于所接收到的連續脉冲群展寬，可能使信号頻譜改变，即信号頻譜窄了。

由于目标散射信号的能量以及由于信号在傳播到目标和从目标返回的时间里在介質中的衰减使信号振幅經常变化。

通常認為雷达站的工作状态为：發射机發射数目无限的連續脉冲，接收机接收数目无限的連續脉冲，这种脉冲具有下列参数：

τ —— 脉冲宽度；

F —— 重复頻率。

但是这种工作状态只有对于發射通道來說才是正确的；而接收通道只有在雷达站的天綫固定不动，并且在天綫方向性圖寬度范圍里存在有反射目标时，才能工作于这种状态。

經常遇到雷达站工作于空間扫描状态，这时在接收通道里具有从每个目标反射回来的数目有限的調幅連續脉冲群，其調幅形式随着天綫特性圖主波瓣的函数种类而不同（圖 1）。

当通道里具有限幅器而且在限幅器之后有檢波器时，我們便可以得到数目有限的連續等幅脉冲群。

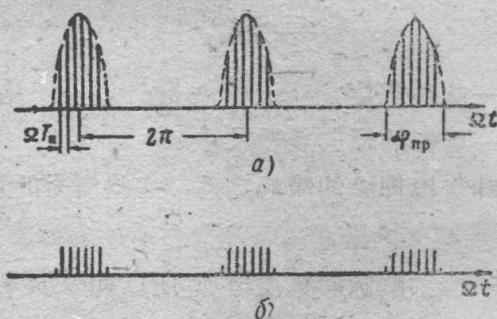


圖1 接收通道里目标的反射脉冲以及根据天綫輻射方向性圖規律进行調制的調幅脉冲:

a —在接收通道里没有限幅器时的脉冲; b —在接收通道里具有有限幅器时的脉冲。

每一个脉冲群中的脉冲数目可以利用雷达站的参数由下列公式确定:

$$n = \frac{F \cdot \varphi_{\pi 0}}{\Omega \cdot 360^\circ}, \quad (1.3)$$

式中 $\varphi_{\pi 0}$ ——天綫射束零功率点上的寬度 (度);

Ω ——天綫旋轉的角速度 (轉/秒)。

公式 (1.3) 只有在滿足下列不等式时才是正确的

$$R \cdot \varphi_{\pi 0} > l_n, \quad (1.4)$$

式中 l_n ——目标的橫向綫性尺寸;

R ——目标的距离。

否則公式 (1.3) 变成下列等式

$$n = \frac{F \cdot l_n}{\Omega \cdot 2\pi R}. \quad (1.5)$$

因此在空間扫描时, 所应考虑的不是数目无限的連續脉冲群, 而是数目有限的連續脉冲群, 此脉冲群可能具有振幅調制。

如果假定

$$\varphi_{\pi 0} \ll 2\pi;$$

$$f(\alpha) = \cos k\alpha,$$

則寻求圖 1 所示的脉冲群的頻譜函数是比較容易的。

在这种情况下可以得到由 N 个脉冲組成的数目有限的連續脉冲群的頻譜，即所謂視在頻譜，同时所选择的脉冲群为偶函数，对于未經振幅調制的視頻脉冲群來說，其頻譜可以根据下列公式确定：

$$F_N(\omega) = A_0 \frac{\frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}}}{\frac{\sin \frac{N\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}}} \quad (1.6)$$

或者

$$F_N(\omega) = A_0 \sin \frac{\omega\tau}{2} \left\{ 1 + 2 \sum_{k=1}^{2N-1} \cos \omega k T \right\},$$

式中 ω ——瞬时頻率值；

N ——脉冲群里脉冲的数目；

k ——諧波次数。

下面是对公式 (1.6) 所进行的严格的数学推导

$$F_N(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} f(t) \cos \omega t dt. \quad (1)$$

單个中央脉冲的頻譜可以写成：

$$F(\omega) = \frac{2E}{\pi\omega} \sin \frac{\omega\tau}{2}, \quad (2)$$

式中 E ——脉冲振幅；

τ ——脉冲寬度；

T ——重复周期。

整个脉冲群的頻譜等于各个脉冲頻譜的总和。

根据滞后定理，各个脉冲频谱的总和可以写成[●]：

$$F_{\Sigma}(\omega) = F(\omega) + F(\omega)e^{j\omega T} + F(\omega)e^{j2\omega T} + \dots + F(\omega)e^{jn\omega T} \\ + F(\omega)e^{-j\omega T} + F(\omega)e^{-j2\omega T} + \dots + F(\omega)e^{-jn\omega T}。 \quad (3)$$

公式 (3) 的和式可以写成：

$$F_{\Sigma}(\omega) = -F(\omega) + F(\omega) + F(\omega)e^{j\omega T} + \dots + F(\omega)e^{jn\omega T} \\ + F(\omega) + F(\omega)e^{-j\omega T} + \dots + F(\omega)e^{-jn\omega T}。 \quad (4)$$

我们可以得到两个几何级数之和

$$F_{\Sigma}(\omega) = -F(\omega) + S_{n1} + S_{n2}, \quad (5)$$

式中

$$S_n = \frac{a_1(q^{n+1}-1)}{q-1}$$

这时

$$F_{\Sigma}(\omega) = -F(\omega) + F(\omega) \frac{e^{j(n+1)\omega T} - 1}{e^{j\omega T} - 1} \\ + F(\omega) \frac{e^{-j(n+1)\omega T} - 1}{e^{-j\omega T} - 1}。 \quad (6)$$

如果将此式变换一下，则

$$F_{\Sigma}(\omega) = -F(\omega) + F(\omega) \frac{e^{j(n+1)\omega T} - 1}{e^{j\omega T} - 1} \\ + F(\omega) \frac{e^{-jn\omega T} - e^{j\omega T}}{e^{j\omega T} - 1}。 \quad (7)$$

然后 $F_{\Sigma}(\omega) = F(\omega) \left[-1 + \frac{e^{j(n+1)\omega T} - 1 - e^{-jn\omega T} + e^{j\omega T}}{e^{j\omega T} - 1} \right]$

$$= F(\omega) \frac{e^{j(n+1)\omega T} - e^{-jn\omega T}}{e^{j\omega T} - 1} = F(\omega) \frac{(e^{j(n+1)\omega T} - e^{-jn\omega T}) e^{-j\omega \frac{T}{2}}}{e^{j\omega \frac{T}{2}} - e^{-j\omega \frac{T}{2}}} \\ = F(\omega) \frac{e^{j\omega \frac{T}{2}(2n+1)} - e^{-j\omega \frac{T}{2}(2n+1)}}{e^{j\omega \frac{T}{2}} - e^{-j\omega \frac{T}{2}}}。 \quad (8)$$

再用 $2n+1=m$ 代入, 最后得到

$$F_{\Sigma}(\omega) = F(\omega) \frac{\sin \frac{m\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}}。 \quad (9)$$

或者更完全地写成

$$F_{\Sigma}(\omega) = \frac{E\tau}{\pi} \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \frac{\sin \frac{m\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}}。 \quad (10)$$

对于调制脉冲群来说, 可以利用类似方法可根据下列公式确定其频谱:

$$F_N(\omega) = A_0 \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} + \frac{A_0 M}{2\tau} \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{2}} \left\{ \frac{\sin \left[(\omega + \Omega) \left(kT + \frac{\tau}{2} \right) \right]}{\omega + \Omega} + \frac{\sin \left[(\omega - \Omega) \left(kT + \frac{\tau}{2} \right) \right]}{\omega - \Omega} \right\}, \quad (1.7)$$

式中 M ——脉冲群的调制系数;

k ——谐波次数。

根据公式(1.6)和(1.7)计算所得到的频谱如图2所示。

所有三种由运动目标反射回来的信号都会产生一定的变形, 即都会发生某些变化。

在利用自运动物体反射回来的未经调制的连续信号时, 反射信号的振幅和频率都将变化。

在目标运动时, 反射信号的振幅通常发生急剧变化, 这是因为外形复杂的物体的反射图形或者是反射特性在反射信

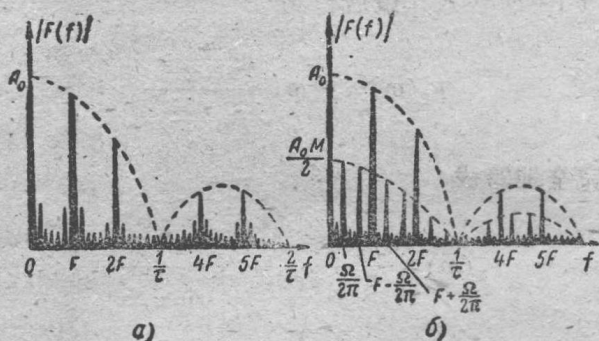


圖2 数目有限的脉冲群的頻譜:

а—等幅脉冲群的頻譜; б—根据 $\cos \alpha$ 規律經過調幅的脉冲群的頻譜。

号频率很高时为多波瓣的緣故[⊖], [⊖]。

由于都卜勒現象引起的反射信号频率的变化通常等于都卜勒修正量的数值

$$f_d = \frac{2v_r}{c} f, \quad (1.8)$$

式中 v_r ——目标的徑向速度;

c ——无綫电波傳播速度;

f ——雷达發射机的频率。

因此信号频率变化与目标运动的徑向速度分量成正比, 根据相对論原理, 信号频率的变化与目标运动与否, 或者是雷达站本身运动与否无关, 只同雷达站和目标之間的相对运动速度有关。

在利用調頻信号时, 所有上述論断仍然适用, 即反射信

⊖ А. Ф. Богомолов, Основы радиолокации, изд. «Советское радио», 1954.

⊖ Радиолокационная техника, т. I и II, изд. «Советское радио», 1949.

号振幅发生变化且频率变化了等于都卜勒修正量的数值。在这里必须指出：如果由目标距离所决定的差频与频偏和调制频率有关，那么由相对径向运动速度所决定的差频仅与雷达站的瞬时频率有关。

在利用连续信号或者调频信号进行工作的具有锐定向天线的圆周扫描雷达站里，接收设备输入端的脉冲宽度，由辐射到目标上的时间决定，通常可按下列公式确定：

$$T_{обл} = \frac{\varphi_{\pi 0}}{\Omega \cdot 360^\circ}, \quad (1.9)$$

式中 $\varphi_{\pi 0}$ ——天线零功率点上的方向性图形的宽度；

Ω ——天线的旋转速度（转/秒）。

如果目标是运动的，则在检波器之后便会形成差频等于都卜勒修正量的，宽度为 $T_{обл}$ 的脉冲

$$F_c = f_{\pi 0}$$

因此在频谱里便会出现新的份量，即频谱发生了如图 3 所示的变化。

当脉冲辐射到运动目标，再从运动目标反射时，脉冲发生变化。这首先是由于该目标具有多波瓣的反射图形，故振幅可能变化。此外，在每一个辐射周期里，反射脉冲相对于探测脉冲的延时，也会改变。

无线电技术上的很多选择方法，即区分运动目标和固定目标的方法，都是以运动目标和固定目标信号的本质区别为基础的。

在这些方法中，有某些方法以补偿固定目标频谱份量为基础。

在接收设备输入端，由于在各个周期里反射脉冲的位置不同，故运动目标和固定目标所反射的信号频谱也不相同。