

雷达高频部件的 设计

〔苏联〕B. И. 弗拉索夫 Я. И. 貝尔曼 著



国防工业出版社

雷达高频部件的设计

[苏联] В. И. 弗拉索夫 Я. И. 貝尔曼 著

尚志祥译



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本書闡述了超高頻設備中若干高頻部件的設計問題。介紹了輻射裝置、傳輸綫及其他高頻部件的計算方法，並討論了波導系統中鐵氧體器件的應用。

本書可供從事設計超高頻設備的工程技術人員閱讀，也可作為高等學校的教學參考書。

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
УЗЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

【蘇聯】Б. И. Власов Я. И. Берман

СУДПРОМГИЗ 1961

雷達高頻部件的設計

尙志祥譯

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 10 $\frac{3}{4}$ 274 千字

1965 年 10 月第一版 1965 年 10 月第一次印刷 印數：0,001—1,540 冊

統一書號：15034·993 定價：（科六）1.60 元

目 录

序言	5
代表符号	6
第一章 天綫裝置的設計	7
§ 1 天綫种类及其計算方法概述	7
§ 2 天綫裝置的参数	10
§ 3 垂直輻射的同相天綫的計算	14
§ 4 “波道型”天綫的計算	42
§ 5 “波前型”天綫的計算方法	53
§ 6 喇叭天綫的計算	78
§ 7 鏡面天綫的設計	96
§ 8 透鏡天綫的計算	120
§ 9 縫隙天綫的設計	132
§ 10 螺旋天綫基本参数的确定	142
§ 11 介质天綫的計算	146
§ 12 天綫罩	154
§ 13 方向图的扫描	166
§ 14 船用雷达天綫的設計	172
§ 15 天綫測量	183
第二章 超高频能量傳輸綫的設計	201
§ 16 傳輸綫的用途和分类	201
§ 17 傳輸綫的一般計算問題	203
§ 18 平行綫和同軸綫参数的确定和选择	210
§ 19 波导主要参数的确定	215
§ 20 波导匹配元件	226
§ 21 傳輸綫的轉換元件	232
第三章 鉄氧体器件及其在雷达波导系統中的应用	238
§ 22 鉄氧体概述	238
§ 23 鉄氧体的基本磁化方程	241
§ 24 带有纵向磁化鉄氧体的波导系統	246
§ 25 带有横向磁化鉄氧体的波导系統	253

第四章 雷达高频部件	264
§ 26 天綫轉換开关	264
§ 27 檢波器	276
§ 28 方向耦合器	280
§ 29 空腔諧振器	297
附录	322
参考文献	338
校正表	339

序 言

雷达高频部件包括：用来传输高频能量的部件以及将高频能量转变为电磁场能或与此作用相反的部件，也就是用以辐射与接收电磁波的部件。

目前在超高频频段已研制出许多种不同型式的辐射装置和能量传输线路。超高频技术是一门具有专门计算方法和设计方法的独立的、广阔的无线电技术部门。本书主要讨论有关天线系统、传输线路以及雷达高频通道中某些高频部件的设计问题。

对于每一类高频装置，都给出基本理论、计算方法及举例。

在设计高频装置时，很重要之点是从事实验工作，它与高频装置参数的特殊测量有着紧密的联系。关于这种测量将单独有一节介绍。

本书由四章组成。第一章叙述各种型式的船用雷达天线及其装置的设计问题；第二章研究了超高频传输线路的设计；第三章叙述用于雷达高频通道中的铁氧体器件的原理；第四章介绍雷达中某些高频部件（天线转换开关、方向耦合器等）的计算。在本书的附录中，搜集有高频馈线的资料和计算某些高频装置的特殊函数表及其他辅助材料。

代 表 符 号

A ——强度函数	L ——电感; 天綫长度
a ——半軸; 寬度; 半徑; 阻抗比	l ——长度
B ——磁感应; 电納; 隔离系数	δ ——损耗角; 透入深度; 縫隙寬度
b ——半軸; 垂直尺寸	ϵ ——介电常数; 增益系数
C ——电容; 系数; 函数	T ——周期; 能量傳輸系数
c ——自由空間中光速; 半軸	T ——溫度
D ——方向系数; 口徑尺寸; 直徑	t ——時間; 方程式的根; 距离
d ——距离; 直徑; 厚度	V ——电位差; 函数
E ——电場强度	v ——速度
e ——电荷	X ——电抗
F ——焦点; 力; 函数符号	x ——距离; 点的座标
f ——焦距; 頻率; 幅度分布函数	U ——全导納
W ——波阻抗; 中間系数; 函数符号	Z ——全阻抗
M ——內磁化强度	z ——距离; 点的座标
M ——区域数	α ——相位常数; 角度
m ——质量; 层数; 系数; 阶数	β ——衰减; 角度; 幅度系数
N ——天綫元数	γ ——傳播常数; 角度
n ——折射指数; 法綫; 阶数; 变换系数	Δ ——場的衰减; 差值; 振子的縮短值
P ——功率	Δf ——帶寬
P ——天綫組数	Φ ——半軸比; 磁通量
Q ——品质因数	Φ ——函数
q ——方向系数的比值	ξ ——函数; 波的縮短系数
R ——电阻; 半徑; 喇叭长度	η ——效率; 函数; 波阻抗
r ——半徑; 标准电阻	θ ——角座标
S ——面积; 螺距	λ ——自由空間波长
s ——鏡像元間的距离	λ_{kp} ——截止波长
G ——电导	λ_n ——波导中波长
g ——电导	μ ——导磁系数; 表面利用系数
H ——磁場强度; 天綫中心高度; 函数	ρ ——焦点至鏡面的距离
h ——高度; 磁場强度	σ ——电导率; 系数
I ——电流	τ ——時間
I ——函数符号	Ψ ——角座标; 磁力比(迴轉磁比)
i —— x 軸单位矢量	φ ——角座标; 相位
j —— y 軸单位矢量	ω ——角頻率
K ——函数符号; 动量矩	Θ ——效率
k ——波数; 系数	$\mathcal{M}$ ——磁矩
$K_{\phi, n}$ ——行波系数	Γ ——反射系数

第一章

天綫裝置的設計

§1 天綫种类及其計算方法概述

各种超短波雷达的不同任务和作用使人們制造出具有各种不同电参数和結構方案的天綫系統。

应用于超高频波段的天綫可以分为下列六类：

1. 振子式的，它的元件为細金屬棒或金屬管构成的振子（在第一种情况，导体的直徑远小于波长；第二种情况則可以与波长相比拟）。

2. 縫隙式的。

3. 声学的，亦即各种形状的金屬喇叭。

4. 光学的——反射鏡式的与透鏡式的。

5. 旋轉极化天綫——螺旋式的与喇叭式的。

6. 表面波天綫——介质棒式的与帶有肋形結構或覆有介质的平板形的。

振子陣（多振子天綫）和“波道型”天綫都屬於振子式天綫。这两种系統广泛地用于分米波和米波警戒雷达及电视設備中。

这类天綫乃是由許多有源的与无源的振子所組成的离散辐射器的总和。这类天綫輻射图形的計算是基于电磁波的离散源的空间陣列理論。

与同相多振子天綫不同，“波道型”天綫各振子的激勵是不同相的，各振子的电流幅值被认为各不相等。

縫隙天綫用于警戒和导航雷达。由于其体积小，使用起来很方便。

縫隙天綫是在具有矩形或圓形截面的波导的表面鋸銼縫隙而

成，縫隙的寬度遠小於波長。這種窄的縫隙可以看作綫性振子。所以根據 A. A. 畢斯多利哥斯 (Пистолькорс) 的“二重性”理論，可以利用由金屬半波振子組成的空間陣列的方向圖的計算方法來計算縫隙天綫的輻射圖。

這種天綫計算方法的實質是確定空間某幾點的場，這時各振子的電流值及其相互位置已知。

聲學與光學型式的天綫應用於厘米波和毫米波波段，並具有下列顯著的特點：它們的尺寸都遠遠大於波長。在這種系統中輻射場不是由離散的輻射源形成，而是由輻射表面——波前形成。

為了計算波前所產生的天綫輻射場，可以借用光學的方法以及利用米波波段所應用的方法。

這類天綫方向圖的計算是用近似法進行的，因為關於電磁波輻射問題的準確解答只有最簡單的天綫才能得到。

為了計算反射鏡式的、喇叭式的和其他幾種型式的天綫，廣泛地採用了基於眾所周知的光學惠更斯原理的近似法。在惠更斯原理的基礎上，並利用基爾赫哥弗法 (Кирхгоф) 公式，可以導出當天綫孔徑上場的分布規律已知時的方向圖的計算公式。

介質天綫由於其便於攜帶而成功地用於那些對縮小天綫體積是一個很重要問題的裝載體上。這種天綫廣泛地應用於小體積的無線電設備中。

眾所周知，在介質中傳播的電磁波將被強烈地吸收，而且頻率越高、場強越強，損耗也越大。考慮到這點，介質天綫可適當地用於分米波波段。在厘米波波段則只用於接收系統。此外，要使介質天綫獲得窄的波束是相當困難的，所以一般只用於搜索雷達和定向雷達。

介質天綫內的電磁場是以小天綫波導口作為激勵源的，電磁場穿過波導開口面之後沿着介質棒向外傳播。為了確定天綫電參數必須求出棒內外電磁場的大小。這個問題目前只解決了無限長的和等圓截面的棒。所得到的解答在決定實際棒的參數時將利用

以下假設。

假設波的傳播只发生在棒的軸綫方向，也就是不考虑与輻射有关的沿徑向傳播的場的相位影响。

并认为圓柱形和圓錐形棒上的波是以恒定相速傳播的，即等于整个棒上相速的平均值。

为了計算輻射場，采用某些簡單的以座标为函数的場的幅值变化規律（通常为等幅或指数衰减）。

表面波天綫由二部分組成：激勵器和引向器。喇叭、綫性振子或由波導饋電的縫隙天綫陣可以作为表面波天綫的激勵器；引向器为覆有一定厚度介质层的金屬平板或肋形結構的表面。带有介质层的引向器表面可以看作是置于金屬面上的具有矩形截面的介质棒。肋形表面的凸起部分在作用特性上相似于平面的金屬-介质透鏡。肋形結構可以当作人工介质层看待。

表面波天綫类似于軸向輻射的多振子天綫，其区别在于前者的輻射器不只是許多个单个元件，而是天綫的整个引向面。

因此，將激勵器的电磁輻射轉变为表面波就能够增加輻射的方向性（与单激勵器作比較）。

由于介质层中的慢波的緣故，波的主要能量集中在天綫表面的附近，沿法綫方向离开表面則按指数律下降。同时，沿着引向器表面能量不断地損失，換言之，便是从引向器表面产生电磁波的繞射。

輻射方向图决定于波长和天綫的結構参数：长、寬、厚及层的介质常数或肋形結構的尺寸。

表面波天綫的方向图与“波道型”天綫相似，但頻帶更寬。它們之間的差別还在于表面波天綫的最大輻射方向与表面間有小的夹角，該角常称为压低角（ угол отжима ）。

表面波天綫的平坦結構和較好的寬頻帶特性使它能夠用作稍微凸起的飞机天綫，特別是在厘米波雷达中。

螺旋天綫——一种旋轉极化的軸向輻射天綫。它是良导体做

的螺旋。这种辐射系统可以用同轴电缆或波导激励。在第一种情况下，螺旋线与电缆的中心线连接。当螺旋线尺寸与波长成一定比例时，螺旋天线变成纵向辐射天线（那时一个螺圈的长度约等于波长），同时它的场成为旋转极化。极化的旋转方向决定于螺旋绕转的方向。倘若天线辐射左旋极化场，那末它将不能接收右旋极化场，反之亦然。

螺旋天线的辐射场决定于螺圈上已知的电流分布，它与直线辐射器的方向图的计算方法类似。

但是在应用螺旋天线时，计算其辐射场将产生某些困难，这是由于导线中行波相速的决定和曲线积分的计算而产生的。螺旋天线的方向图决定于螺圈的数目、直径、螺距和频率。螺旋天线为宽频带：它的输入阻抗和方向图宽度在很宽频率范围内保持稳定。

显著的优点是能够成功地将螺旋天线用于侦察和干扰设备，这里最重要的是天线系统在旋转极化情况下工作于宽的频率范围内。从结构上考虑，螺旋天线适用于分米波段及与之紧接着的厘米波段。

§2 天线装置的参数

任何天线装置都是用电参数和结构参数来表征其特性的。它们通常由雷达天线装置的战术、技术要求提供。

电参数决定于雷达的用途，结构指标则决定于电参数值及天线在某一装载体上的安装条件。这两类参数间存在着依赖关系。

天线电参数包括：方向图，方向系数，天线辐射电阻与输入阻抗，效率，天线增益系数，有效吸收面积等。

天线结构参数为：基本的几何尺寸（长、宽、高），通常还标出第四个尺寸，即被称作旋迴半径（радиус обметания），它被理解为天线结构元件离转动轴的最大距离；装置的重量；结构刚度；强度或抗破坏能力与静负荷；风压载荷以及风的转动力矩等。

現在討論天綫的电参数。天綫方向图表征了不同方向的相对辐射分布。远区向量 $\vec{E}$ 分量的角分布表示为角坐标 θ 与 φ 的函数 $F(\theta)$ 与 $F(\varphi)$ (图1)。这些函数称为該天綫各相应电场分量的方向图。

因为 $F(\theta)$ 和 $F(\varphi)$ 在一般情况下为复量, 所以它們可以分为幅度图形和相位图形。但是实际上总是对幅度图形 $|F(\theta)|$ 和 $|F(\varphi)|$ (方向图) 感兴趣。相位方向图不随坐标 θ 与 φ 的变化而变化 (或跳跃式地变化 π 角度), 因为大多数天綫有相位中心。

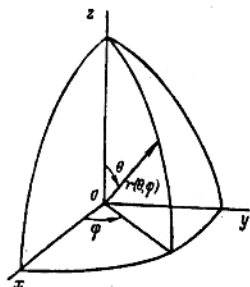


图1 球坐标系統

方向图 $F(\theta)$ 与 $F(\varphi)$ 可以用球坐标系来表示, 这里任一点的向量半径 $\vec{r}(\theta, \varphi)$ 等于或正比于数值 $F(\theta)$ 和 $F(\varphi)$ 。通常方向图繪制在直角坐标系里 [$x = \theta$, $y = \varphi$, $z = F(\theta)$ 或 $z = F(\varphi)$]。

事实上天綫的設計常常不采用空間的方向图, 而是采用 $\theta =$ 常数和 $\varphi =$ 常数的截面图。可以用这些截面图来表示空間的方向图。

在解决各种雷达問題和进行天綫測量时, 都采用功率方向图的概念, 它表征了天綫辐射功率的角度分布。

某一方向单位立体角內的辐射功率流 $P(\theta, \varphi)$ 正比于 $F^2(\theta, \varphi)$ 。这一函数称为功率方向图。为了繪制方便起見, 規定方向图的最大值为一, 即

$$F_1^2(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_{\max}(\theta, \varphi)} = \frac{F^2(\theta, \varphi)}{F_{\max}^2(\theta, \varphi)}.$$

方向图可以有下面二种表示方式: 主波瓣的半功率点宽度 $\theta_{0.5P_{\max}}$ 或 $\varphi_{0.5P_{\max}}$ 以及第一个旁瓣的电平 $F_0(\theta)$ 或 $F_0(\varphi)$ 。

为了估量天綫电磁能量在某一方向的集中程度, 引入第二个参数——方向系数(к. н. д.) $D(\theta, \varphi)$ 。

方向系数表示在 (θ, φ) 方向上该天线的辐射功率比各向均匀辐射天线在同一方向所辐射的功率大多少倍 (两天线的总辐射功率相等)。

倘若: P_{Σ} ——总辐射功率;

$\frac{P_{\Sigma}}{4\pi}$ ——各向均匀辐射天线单位立体角内的辐射功率;

$P(\theta_i, \varphi_i)$ ——有方向性天线在 (θ_i, φ_i) 方向的辐射功率。

那末方向系数就定义为

$$D(\theta_i, \varphi_i) = \frac{4\pi P(\theta_i, \varphi_i)}{P_{\Sigma}} \quad (1)$$

有时方向系数的定义不是与各向均匀辐射体作比较, 而是与半波振子的方向系数作比较。

利用总辐射功率的表示式, 公式(1)改写为

$$\begin{aligned} D(\theta_i, \varphi_i) &= \frac{4\pi P(\theta_i, \varphi_i)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \varphi) \sin \theta d\varphi d\theta} \\ &= \frac{4\pi F_1^2(\theta_i, \varphi_i)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F_1^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\varphi d\theta} \end{aligned}$$

方向系数的最大值相当于最大的辐射方向, 也就是当 $F_1(\theta_i, \varphi_i) = 1$ 。因而,

$$D_{\max} = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F_1^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\varphi d\theta} \quad (2)$$

从上式可知, 方向系数的计算转化为二重积分的计算, 其中被积函数为天线的功率方向图。

在计算方向系数时常常采取近似的方法, 即基于方向图的断面计算法。倘若方向图近似于具有 a 、 b 、 c 三个轴的旋转椭球体(图2), 那末半波振子的方向系数按下式计算:

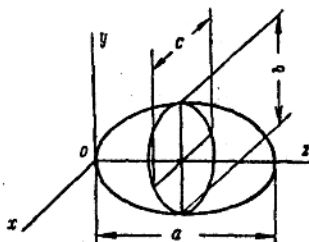


图2 方向图的近似法

$$D = \frac{4(\Phi^2 - 1)}{1 - \frac{1}{2\Phi\sqrt{\Phi^2 - 1}} \ln \frac{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - 1}}{\Phi - \sqrt{\Phi^2 - 1}}} \quad (\text{当 } \Phi > 1 \text{ 时});$$

$$D = \frac{4(1 - \Phi^2)}{\frac{1}{\Phi\sqrt{1 - \Phi^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1 - \Phi^2}}{\Phi}} \quad (\text{当 } \Phi < 1 \text{ 时}), \quad (3)$$

式中 $\Phi = \sqrt{\Phi_1 \Phi_2}$; $\Phi_1 = \frac{a}{b}$; $\Phi_2 = \frac{a}{c}$ 。

低准确度的方向系数可以按下列近似公式计算:

$$D = \frac{41250}{\theta_{0.5}^\circ \varphi_{0.5}^\circ} \mu,$$

式中 μ —— 天线表面利用系数;

$\theta_{0.5}^\circ, \varphi_{0.5}^\circ$ —— 垂直面与水平面方向图宽度。

天线辐射电阻 (R_z) 表征天线的辐射功率。 R_z 的物理意义为: 它是一个等效电阻, 将它乘以天线电流幅值平方的半数便等于辐射功率 P_z , 即

$$P_z = \frac{1}{2} I_{\max}^2 R_z.$$

辐射电阻的计算与天线种类有关, 或者用感应电动势法, 或者借助于乌莫夫-玻印廷向量。

在天线与振荡器的匹配问题上, 十分重要的是具有复数性质的输入阻抗

$$Z_A = R_A + jX_A.$$

天线效率 (η) 被理解为辐射功率与输入功率之比

$$\eta = \frac{P_z}{P_0}.$$

倘若输入功率 $P_0 = \frac{1}{2} I_{\max}^2 R_A$, 辐射功率 $P_z = \frac{1}{2} I_{\max}^2 R_z$, 那末效率的表示式为

$$\eta = \frac{R_z}{R_A} = \frac{R_z}{R_z + R_{\text{外}}}. \quad (4)$$

从上式可知，效率愈高，天綫的損耗 R_n 愈小。雷达天綫由于其与地面的耦合很弱，因而損耗較小。超高频天綫的效率約为 90~95%，所以天綫增益(等于方向系数与效率的乘积)可以认为等于方向系数

$$\varepsilon = D\eta \approx D。$$

用作接收电磁波用的天綫的特性决定于所謂有效吸收面积。有效吸收面积 A 乘以接收点的能量流便是天綫的輸出功率。

接收天綫从不同方向所接收的訊号各不相同，所以 $A = A(\varphi, \theta)$ 。在天綫方向系数与有效吸收面积的最大值間存在着关系式

$$A_{\max} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_{\max},$$

从而

$$A(\theta, \varphi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} D(\theta, \varphi)。$$

下面进一步討論各种具体天綫的参数計算方法。

§3 垂直輻射的同相天綫的計算

为了加大天綫的方向系数，将各个輻射器合理地联合在一起，各个輻射器以一定的規律饋电。这种天綫可以分为二类：沿着輻射器所安裝的軸的方向輻射的天綫和垂直于此軸而輻射的天綫。前者（“波道型”天綫）将在下一节討論。

現在研究垂直輻射天綫（也称为“波前型”天綫）的基本理論。这种天綫在效能上的提高可解釋为各个輻射器在同一方向空間的場的合成。最广泛应用的天綫系統是由等电流幅值及等相位差 ψ 的輻射器所組成。事实上为了饋电系統的簡單起見，多半采用各輻射器間的同相饋电，在此情況下 $\psi = 0$ 。

現在討論輻射系統（所謂輻射陣）的方向特性。倘若輻射器均匀地沿 x 軸分布（图 3），它們的电流幅值相等，相位相同，那末这一系統的方向图（場的）可以表示为

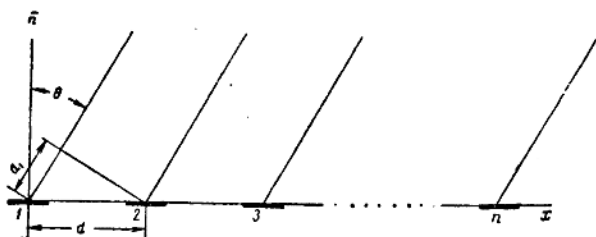


图3 辐射器阵

$$F(\theta) = F_1(\theta) \frac{\sin \frac{nd_e \sin \theta}{2}}{\sin \frac{d_e \sin \theta}{2}}, \quad (5)$$

式中 $F_1(\theta)$ ——单振子的方向图。代入

$$\frac{\sin \frac{nd_e \sin \theta}{2}}{n \sin \frac{d_e \sin \theta}{2}} = F_n(\theta), \quad (6)$$

式中 $F_n(\theta)$ ——辐射阵因子，可得

$$F(\theta) = F_1(\theta) F_n(\theta). \quad (7)$$

在上述公式中

$$d_e = 2\pi \frac{d}{\lambda}, \quad (8)$$

式中 d ——振子间的距离。单个辐射器（对称振子）的场的方向图由下式表示：

在 E 面，

$$F_1(\theta) = \frac{\cos \left(2\pi \frac{l}{\lambda} \sin \theta \right) - \cos 2\pi \frac{l}{\lambda}}{\cos \theta}, \quad (9)$$

式中 l ——振子的一个臂长（图4）；

在 H 面，

$$F_1(\varphi) = 1. \quad (10)$$

通常在多振子天线中，作为天线单元的是半波振子（ $l =$

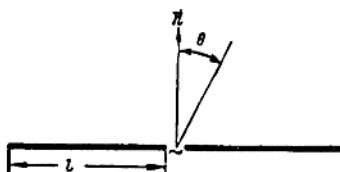


图4 对称振子

0.25 λ), 此时公式(9)变为

$$F_1(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta}.$$

表1 列出比值 $\frac{l}{\lambda}$ 为 0.25、

0.3、0.375、0.5 等不同值时

四个对称振子的 $F_1(\theta)$ 值。这些振子的方向图画于图5, 这里 $F_1(\theta)$ 被 $\theta = 0$ 时的 $F_{1\max}(\theta)$ 所归一化。

表1 函数 $\frac{F_1(\theta)}{F_{1\max}(\theta)}$ 的数值

θ°	$\frac{l}{\lambda}$			
	0.25	0.3	0.375	0.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0.995	0.994	0.992	0.988
10	0.978	0.975	0.968	0.945
15	0.952	0.945	0.920	0.875
20	0.915	0.910	0.872	0.788
25	0.870	0.851	0.812	0.686
30	0.817	0.790	0.741	0.578
35	0.757	0.727	0.661	0.469
40	0.694	0.661	0.585	0.371
45	0.628	0.592	0.507	0.278
50	0.561	0.516	0.436	0.203
55	0.489	0.447	0.354	0.138
60	0.418	0.380	0.300	0.087
65	0.350	0.312	0.241	0.052
70	0.281	0.246	0.204	0.038
75	0.224	0.186	0.138	0.015
80	0.141	0.128	0.087	0.003
85	0.069	0.070	0.025	0.000
90	0.000	0.000	0.000	0.000

倘若公式(6)中各辐射器间的距离等于 $\frac{\lambda}{2}$, 则简化为

$$F_n(\theta) = \frac{\sin\left(n \frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}. \quad (11)$$

当利用多层的辐射器阵列时(图6), 其方向图将决定于下式: