

航管单脉冲二次雷达开式阵列天线

陈伟

民航海南省管理局雷达站 570203

摘要：本文主要介绍意大利 ALENIA 公司的航管二次雷达天线 ALE-9 OPEN ARRAY ANTENNA 的构造，分析其设计原理。

关键词：单脉冲 二次雷达 激励

一、引言

二次雷达在航空交通管制，敌我识别和信标跟踪等方面得到了广泛应用。目前国内民航机场引进了多套 ALENIA 公司生产的二次雷达。ALE-9 OPEN ARRAY ANTENNA 是其采用的天线。本文主要介绍这种天线的结构，以及一些主要的部件及其设计原理。

二、天线结构

ALE-9 天线是由 35 根辐射柱组成的直线阵列天线，另有一个附加的同样的辐射柱装在背部。这些辐射柱都装在天线的金属支架上，天线支架留有一个维护平台。支架由三部分组成，其两侧部分分别是 8 根辐射柱和一个 8 功分器；中心部分是 19 根辐射柱、一根背部辐射柱和中心分配装置。天线尺寸为 1.8*1.2*8.4 米（高、宽、长），重约 430 公斤。辐射柱间隔 24 厘米，高 165 厘米。

三、天线的辐射特性

ALE-9 天线在同一阵列孔径中，须产生 3 种辐射图。每种方向图因天线的馈源不同而相差很大。天线有三种输入模式，分别为和模式、差模式以及旁瓣抑制模式。每种模式的垂直方向图是相同的，但水平方向图却差别很大。

1. 垂直方向图

天线阵列中垂直轴线上的辐射元件激励产生垂直方向图。为了能达到所需的方向图，在每根辐射柱里设计了 11 个间距为 150 mm 的垂直偶极子。并由一功分器为其分配功率。每一阵子所需激励如表 1 所示。由于和、差以及旁瓣抑制模式都用同一辐射柱，因此拥有一样的垂直方向图。

表 1 偶极子的激荡

NO	1	2	3	4	5	6
幅度	-20.11	-20.60	-17.95	-15.08	-13.48	-9.89
相位	-124.2	-112.2	-130.9	-144.9	-155.6	-174.1
NO	7	8	9	10	11	
幅度	-9.91	-10.98	-6.01	-5.78	-10.46	
相位	+151.4	+153.8	+126.3	+66.8	+0.0	

2. 水平方向图

和信号的水平方向图是一狭小的尖波束，旁瓣低于 -42dB。差信号的水平方向图为两个狭小的尖波束，位于和波束两侧大约 2 度的位置，在和波束的峰值点上，差波束为零值点，旁瓣低于 -32dB。旁瓣抑制信号的方向图基本上是全方向性的，只在和信号主波束处有一零值区。天线阵辐射柱的数量、间隔及其激励都需设计成能满足其和、差信号方向图的要求。每一辐射柱激励如表 2 所示。和信号、旁瓣抑制信号的激励是关于中心点对称的，差信号的激励是反对称的。

和、差信号所产生的误差信号用来确定目标偏离瞄准轴的角度。为了满足旁瓣抑制信号，天线阵中间单元有单独的馈源。

表 2 Azimuth Taper For SSR Antenna (35 elements)

NO	差 (db)	和 (db)	旁瓣抑制 (db)
1	-23.45	-29.84	-40.82
2	-22.63	-29.02	-40.00
3	-20.92	-27.31	-38.84
4	-18.71	-25.11	-36.14
5	-16.65	-23.05	-34.07
6	-15.08	-21.47	-32.51
7	-14.00	-20.40	-31.41
8	-13.26	-19.65	-30.66
9	-12.74	-18.89	-27.92
10	-12.44	-15.72	-26.74
11	-12.43	-14.70	-25.73
12	-12.78	-13.84	-24.85
13	-13.57	-13.12	-24.14
14	-14.89	-12.55	-23.57
15	-16.95	-12.10	-23.12
16	-20.29	-11.78	-22.79
17	-26.11	-11.59	-22.61
18	-1000.00	-11.36	-0.33(*)

3. 天线的主要参数

频率：1030MHz (发) 1090MHz (收) VSWR 1.5: 1

波束宽度：2.35° (水平) 11° (垂直) 增益：22dB

水平旁瓣：-32dB 极化方式：垂直

四. 天线的主要组件

1. 8 功分器

有两个 8 功分器分别馈电给天线两端 8 个辐射柱。其分配特性如下

0db 输入	1	2	3	4	5	6	7	8
db	-15.81	-14.83	-13.25	-11.03	-8.99	-7.41	-6.34	-5.60

2. 中心分配装置

中心分配装置有两个 10 功分器，一个是和信号的，一个是差信号的。每一路输出被和差电桥分成与和信号同相，与差信号相差 180 度的两路相等信号。其分配函数特性如下

0db 输入时的相对输出 (db)

	1	2	3	4	5
Σ	-10.72	11.35	-12.38	-13.55	-10.50
Δ	-4.66	-9.42	-9.43	-9.73	-9.78
	6	7	8	9	10
Σ	-9.79	-9.21	-8.76	-8.44	-8.25
Δ	-10.56	-11.88	-13.94	-17.19	-23.10

五. 设计原理

根据天线原理，我们知道直线阵列天线的阵因子

它与天线阵的单元数目、间距、激励幅度和相位有关。若激励的幅度分布是对称的等间距相位均匀递变，则阵因子

$$S = \sum (I_n) * e^{-j(k*x_n * \cos \theta + n\pi)}$$

它与天线阵的单元数目、间距、激励幅度和相位有关。

若天线阵单元为等间距，其激励的幅度分布是对称的，相位均匀递变，则阵因子可变为

$$n=2N+1 \quad S(u/2) = 1 + 2 * \sum (I_n/I_0) * \cos(2\pi n(u/2))$$

$$n=2N \quad S(u/2) = 2 * \sum (I_n/I_0) * \cos((2\pi n - \pi)(u/2))$$

式中 $I_n = k * d * (\cos \theta - \cos \theta_0)$

根据道尔夫--切比雪夫综合法，如令 $X = X_0 * \cos(u/2)$ ，可令上式与切比雪夫多项式的解相对应。可用下式求出各单元的激励幅度：

$$I_n = \sum (-1)^{n-p} * (N/N+P) * \begin{bmatrix} N+p \\ 2p \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2p \\ p-n \end{bmatrix} * X_0 \exp(2p) \quad (2N+1 \text{ 个单元})$$

216

$$I_n = \sum (-1)^{n-p} (2N-1/2^*(N+p-1)) * \begin{pmatrix} N+p-1 \\ 2^*p-1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 2^*p-1 \\ p-n \end{pmatrix} X_0 \exp(2p-1) \quad (2N \text{ 个单元})$$

式中 $\begin{pmatrix} r \\ s \end{pmatrix} = (r!)/(s!(r-s)!)$,

当知道天线的单元数和给定副瓣电平时，由下式确定 X_0 :

$$X_0 = \cosh(\cosh^{-1} R/m)$$

由于切比雪夫阵列是等副瓣的，其两端的激励电流比其相邻的电流幅度大得多，造成馈电困难。因此，需要进行泰勒综合。泰勒方向图函数为：

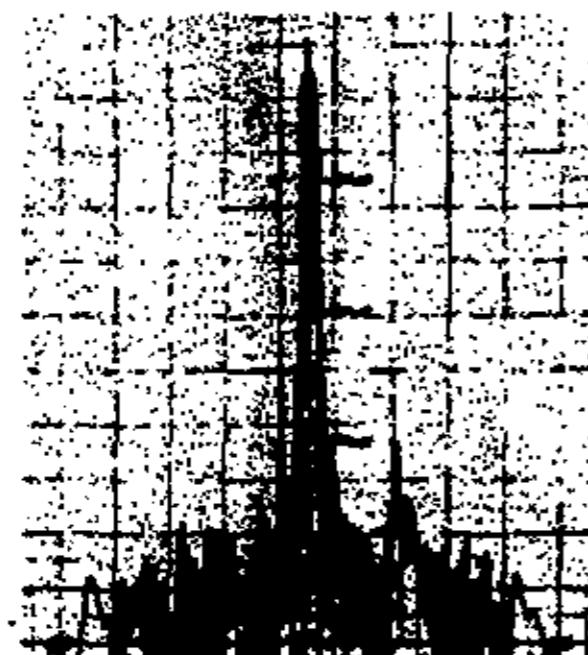
$$S(u, A, n) = \cosh(\pi A)((n-1)!) / ((n-1+u)!(n-1-u)!) \prod(1-(u/\sigma_u))$$

由方向图函数可导出各单元激励的幅度：

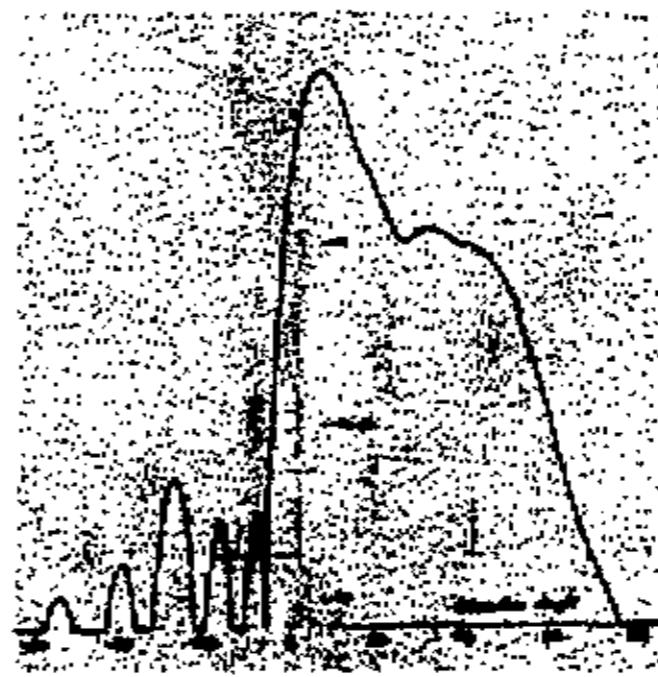
$$H_n(p) = 1 + 2 * \sum S_m(m) * \cos(mp)$$

式中 $\begin{cases} p = 2 * \pi * \zeta / L = 2 * \pi * d * n / L, & n=0, 1, \dots, N \quad (\text{单元总数 } n=2N+1) \\ p = 2 * \pi * \zeta / L = \pi * d * (2n+1) / L, & n=0, 1, \dots, (N-1) \quad (\text{单元总数 } n=2N) \end{cases}$

利用上式可以对天线进行分析和综合。设计时应根据给定的主、副瓣电平之比 R_0 选择适当的 $n, n>=2A+A+(1/2)$, $R_0=\cosh(\pi A)$.



和、差信号水平方图



垂直方向图

参考文献:

- 1 SECONDARY INTERROGATOR RECEIVER MONOPULSE WITH IISLS TECHNICAL MANUAL Written By RADAR AND SYSTEM DIVISION Logistic Dept./Maintainability Sect. 1996
- 2 INSTALLATION AND MAINTENANCE INFORMATION FOR THE ALE-9 OPEN ARRAY ANTENNA TECHNICAL MANUAL
- 3 阵列天线分析与综合 汪茂光等编 电子科技大学出版社 1989
- 4 天线原理与设计 谢处方 邱文杰编 1985
- 5 二次雷达设备 苏志刚编 中国民用航空学院 1998

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>