

## 阵列天线方向图的 MATLAB 实现

陈天禄 郭燕红

(西藏大学理学院 西藏拉萨 850000)

**摘要:**天线的方向性是指电磁场辐射在空间的分布规律,文章以阵列天线的方向性因子  $F(\theta, \varphi)$  为主要研究对象来分析均匀和非均匀直线阵天线的方向性。讨论了阵列天线方向图中主射方向和主瓣宽度随各参数变化的特点,借助 MATLAB 绘制出天线方向性因子的二维和三维方向图,展示天线辐射场在空间的分布规律,表现辐射方向图的特点。

**关键词:**阵列天线;方向图;MATLAB

**中图分类号:**TN82 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-5738(2010)01-103-05

### 前言

天线是发射和接收电磁波的重要的无线电设备,没有天线也就没有无线电通信。不同用途的天线要求其有不同的方向性,阵列天线以其较强的方向性和较高的增益在工程实际中被广泛应用。因此,对阵列天线方向性分析在天线理论研究中占有重要地位。阵列天线方向性主要由方向性因子  $F(\theta, \varphi)$  表征,但  $F(\theta, \varphi)$  在远区场是一组复杂的函数,如果对其的认识和分析仅停留在公式中各参数的讨论上,很难理解阵列天线辐射场的空间分布规律<sup>[1]</sup>。MATLAB 以其卓越的数值计算能力和强大的绘图功能,近年来被广泛应用在天线的分析和设计中。借助 MATLAB 可以绘制出阵列天线的二维和三维方向图,直观地从方向图中看出主射方向和主瓣宽度随各参数的变化情况,加深对阵列天线辐射场分布规律的理解。

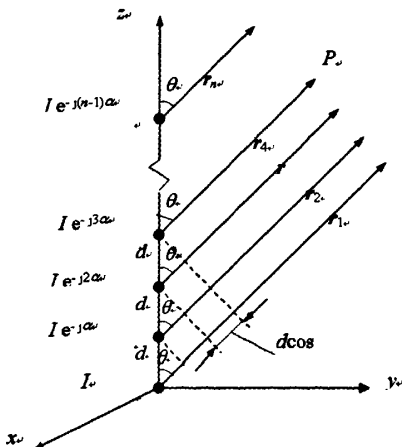


图 1 均匀直线阵

### 1 均匀直线阵方向图分析

若天线阵中各个单元天线的类型和取向均相同,且以相等的间隔  $d$  排列在一条直线上。且各单元天线的电流振幅均为  $I$ ,相位依次滞后同一数值  $\alpha$ ,那么,这种天线阵称为均匀直线式天线阵,如图 1 所示<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2010-05-14

第一作者简介:陈天禄(1979-),男,汉族,甘肃天祝人,西藏大学理学院讲师,主要研究方向为宇宙线和  $\gamma$  天文。

均匀直线阵归一化阵因子为<sup>[3]</sup>:

$$F_n(\theta, \phi) = \frac{\sin \frac{n\xi}{2}}{n \sin \frac{\xi}{2}}, \xi = kd \cos \theta - \alpha, \quad (1)$$

$F_n(\theta, \phi)$  是一个周期函数, 所以除  $\xi=0$  时是阵因子的主瓣最大值外,  $\xi = \pm 2m\pi (m=1, 2, \dots)$  都是主瓣最大值, 这些重复的主瓣称为栅瓣, 在实际应用中, 通常希望出现一个主瓣, 为避免出现栅瓣, 必须把  $\xi$  限制在  $-2\pi < \xi < 2\pi$  范围内<sup>[4]</sup>, 其中  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , 即波数,  $n$  表示阵元数目。

### 1.1 边射式直线阵

当均匀直线阵各天线元上的电流都同相时, 即  $\alpha=0$  时, 天线阵最大辐射方向为垂直于天线阵的轴线方向, 即  $\theta = \pm \frac{\pi}{2}$  方向, 这种天线阵称为边射式直线阵, 其归一化阵因子为:

$$F_n(\theta, \phi) = \frac{\sin \left[ \frac{nd \cos \theta}{2} \right]}{\sin \left[ \frac{kd \cos \theta}{2} \right]} \quad (2)$$

边射阵不出现栅瓣的条件是  $d < \lambda$ 。

### 1.2 普通端射式直线阵

天线阵的最大辐射方向指向阵直线的方向, 即  $\theta=0$  的方向, 这样的直线阵叫做端射式直线阵, 普通端射式天线阵的归一化阵因子为:

$$F_n(\theta, \phi) = \frac{\sin \left[ \frac{nk d}{2} (\cos \theta - 1) \right]}{n \sin \left[ \frac{k d}{2} (\cos \theta - 1) \right]} \quad (3)$$

普通端射阵方向图不产生栅瓣的条件为  $d < \frac{\lambda}{2} \left( 1 - \frac{1}{2n} \right)$ 。

### 1.3 强方向式端射阵

为了提高普通端射阵的方向性, 可以通过控制单元间的电流相位差来实现。即在普通端射阵的基础上将相邻单元间的初相差加上  $\frac{\pi}{n}$  的相位延迟, 这种均匀直线阵称为强方向性端射阵, 强方向式端射阵的归一化因子为:

$$F_n(\theta, \phi) = \sin \left( \frac{\pi}{2n} \right) \frac{\sin \left[ \frac{n}{2} \left[ kd(\cos \theta - 1) - \frac{\pi}{n} \right] \right]}{\sin \left[ \frac{1}{2} \left[ kd(\cos \theta - 1) - \frac{\pi}{n} \right] \right]} \quad (4)$$

强方向端射阵方向图不产生栅瓣的条件为  $d < \frac{\lambda}{2} \left( 1 - \frac{1}{n} \right)$ 。

### 1.4 相位扫描直线阵

改变均匀直线阵相邻电流相位差  $\alpha$  将引起方向图最大辐射方向相应地变化。连续改变单元天线之间的电流相位差, 即可连续地改变天线的主射方向, 这样无需转动天线, 即可实现在一定范围内的方向性扫描, 这种天线阵称为相控阵天线, 相位扫描直线阵的归一化阵因子为:

$$F_n(\theta, \phi) = \frac{\sin \left[ \frac{nk d}{2} (\cos \theta - \cos \theta_n) \right]}{n \sin \left[ \frac{k d}{2} (\cos \theta - \cos \theta_n) \right]} \quad (5)$$

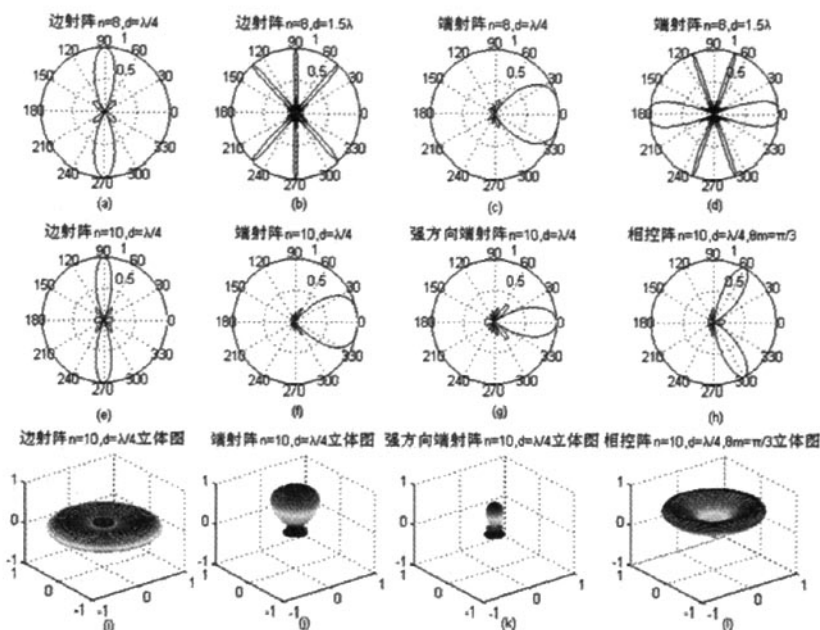


图2 均匀直线阵方向图

相位扫描直线阵不出现栅瓣的条件是  $\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1 + |\cos \theta_m|}$ ,  $\theta_m$  表示最大辐射方向。

根据公式(1)~(5), 利用 MATLAB 程序, 可以绘制出均匀直线阵方向图, 如图2所示, (a)、(b)是八元边射式直线阵无栅瓣和有栅瓣的  $E$  面方向图, 图2中(c)、(d)是八元普通端射阵无栅瓣和有栅瓣的  $E$  面方向图, 方向图中应该避免出现栅瓣。图2中(e)、(f)、(g)是十元边射阵、普通端射阵和强方向端射阵的  $E$  面方向图, 通过图2中的(a)与(e)、(c)与(f)的比较可以看出均匀直线阵的主瓣宽度随阵元数目增加而变窄, 改变阵元数目就可以得到任意窄的主瓣。比较图2(f)与(g)可以看出强方向端射阵比普通端射阵主瓣要窄的多, 但其副瓣电平也比较大。图2(h)是主射方向为  $\frac{\pi}{3}$  的相控直线阵  $E$  面方向图。图2中(i)、(j)、(k)、(l)是(e)、(f)、(g)、(h)的三维立体方向图。

## 2 等间距振幅不均匀分布直线阵方向图分析

均匀直线阵可以通过增加阵元数目来降低主瓣宽度以提高方向性, 但副瓣电平却不能通过这种方式来降低, 我们可以通过改变阵元上电流振幅分布来降低副瓣电平。我们假设直线阵是由  $n$  个电流元组成的。我们把  $n$  分成偶数和奇数两种情况来讨论: 当  $n$  为偶数时, 即  $n=2N$  ( $N$  为正整数), 如图3中(a)所示, 各元间距为  $d$ , 所有阵元电流相位相同, 阵元电流振幅  $I_k$  分布不均匀, 其阵因子为:

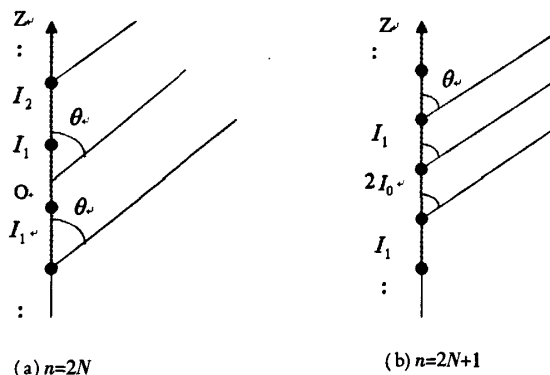


图3 振幅不均匀分布的  $d$  元等间距直线阵

$$f_n(\theta, \phi) = \sum_{k=1}^N 2I_k \left( \frac{2k-1}{2} \xi \right) \quad \xi = kd \cos \theta - \alpha \quad (6)$$

当  $n$  为奇数时, 即  $n=2N+1$  ( $N$  为正整数), 如图 3 中(b)所示, 各阵元间距仍为  $d$ , 电流相位相同, 阵元电流振幅  $I_k$  分布不均匀, 其阵因子为

$$f_n(\theta, \phi) = \sum_{k=0}^N 2I_k \left( \frac{2k}{2} \xi \right) \quad \xi = kd \cos \theta - \alpha \quad (7)$$

表 1 十二元直线阵阵元电流振幅分布情况表

阵元电流振幅分布	$I_0$	$I_5$	$I_4$	$I_3$	$I_2$	$I_1$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
(a) 中心向两边递加	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
(b) 均匀分布	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(c) 中心向两边递减	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1
(d) 中心向两边递减	2	4	6	8	1	12	12	10	8	6	4	2
(e) 二项系数分布	1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11	1

表 1 列出了十二元直线阵阵元电流振幅分布的不同情况, 根据公式(6)、(7), 利用 MATLAB 程序, 可以绘制出非均匀直线阵不同振幅分布的  $E$  面方向图, 如图 4 所示。由图 4 可以看出, 不同的振幅分布将产生主瓣宽度与副瓣电平都不同的方向图, 图 4 (a)中振幅由中心向两边递加, 其方向图副瓣最大; 图 4 (b)为均匀直线阵, 其主瓣最窄, 但副瓣也比较大; 图 4 (c)、(d)随着中心向两边递减幅度增大, 副瓣越来越小, 但主瓣越来越宽; 当振幅呈二项系数分布时, 由图 4 (e)可知, 副瓣完全消失, 但主瓣也变得最宽, 而且电流振幅自阵中心向两边递减的梯度太大, 给馈电带来很大的困难。图 4 中 (f)是对 (d)的放大。

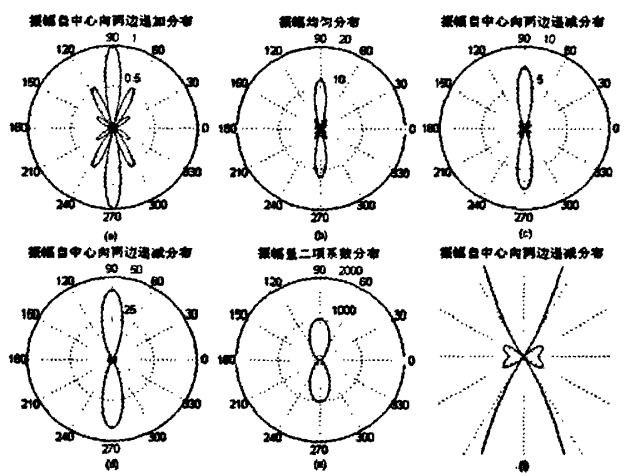


图 4 非均匀直线阵方向图

从上述分析可知,使直线阵中各单元电流的振幅自阵中向两边递减,就可以降低副瓣电平以至完全消除副瓣,这样我们就可以通过调整电流振幅分布来设计出所需要的天线方向图。

### 3 结束语

MATLAB 辅助分析天线辐射方向图,它可以将复杂的函数以二维、三维图形直观的展示出来,极大地方便了我们对阵列天线辐射场空间分布的理解。本文不足之处是缺少对天线方向图的定量分析,但还是体现出了 MATLAB 在天线分析和综合领域的可观前景。

附录:普通端射阵天线的 MATLAB 程序,对应图 2(f)

```
clear;
f=3e10;
lamda=(3e8)/f;
beta=2.*pi/lamda;
n=10;
t=0:0.01:2*pi;
d=lamda/4;
W=beta.*d.*cos(t);
z1=((n/2).*W)-n/2*beta*d;
z2=((1/2).*W)-1/2*beta*d;
F1=sin(z1)./(n.*sin(z2));
K1=abs(F1);
polar(t,K1);
```

### 参考文献

- [1] 王曼珠. MATLAB 在天线方向图中的应用与研究[J]. 电气电子教学学报, 2004(4).
- [2] 杨儒贵. 电磁场与电磁波(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [3] 朱崇灿. 天线[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1996.
- [4] 卢万铮. 天线理论与技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

## The Realization of MATLAB on Array Antenna's Radiation Pattern

Chen Tian-lu Guo Yan-hong

(School of Science Tibet University Lhasa, Tibet 850000)

**Abstract:** The directivity of Antenna refers to the spatial distribution rule of electromagnetic radiation in the space. The present paper analyzes the directivity of the uniform and non-uniform linear array antenna, the array antenna's directional function  $F(\theta, \varphi)$  as the key object. In addition, the variation characteristics of direction of maximum radiation and the width of main lobe with the parameters change in the array antenna radiation pattern have been discussed and a two and three-dimensional figure of antenna radiation was plotted easily by using MATLAB, which showed the distribution rule of radiation field in the space intuitively and the characteristics of the radiation pattern clearly.

**Key Words:** Array Antenna; Radiation Pattern; MATLAB

[责任编辑: 蔡秀清]

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>