

星载线极化天线接收椭圆极化波的理论研究

庞 峰¹ 施许立² 耿建平³

(1. 杭州电子科技大学 浙江 杭州 310018 2. 中国科学院国家天文台 北京 100012 ;
3. 桂林电子工业学院 广西 桂林 541004)

摘要 提出了使用有源天线来接收低频率、宽频带电磁波的方法 ,从线极化波与圆极化波之间的关系入手 ,结合椭圆极化波的极化图概念 ,进一步推导出了两者特征参量之间的关系 ,为在空间飞行器上使用线极化天线来接收椭圆极化波 ,并确定椭圆极化波的能量密度和极化参数提供了理论依据。

关键词 线极化波 极化图 椭圆极化波 特征参量

中图分类号 :TN014

文献标识码 :A

文章编号 :1001 - 9146(2005)03 - 0040 - 03

0 引 言

为了实现特定的科学目标 ,要求天线工作在 250MHz 频段内 ,带宽达 25 倍频程 ,而由于天线安装载体为空间飞行器 ,为了不对飞行器的运行、姿态调整等产生大的影响 ,决定了其尺寸不能太大。鉴于这种情况 ,考虑使用有源电小尺寸天线来实现低频率、宽频带电磁波的接收。此外 ,为了保证接收信息的完整性 ,要求天线以圆极化方式工作 ,一般情况下使用一对右旋圆极化天线和左旋圆极化天线分别接收 ,以便确定来波(椭圆极化波)的能量密度和部分极化参数(轴比 AR、旋向) ,倾角 τ 无法确定 ,但一般圆极化天线频带范围比较窄 ,即使是现在被称为宽频带的圆极化天线 - 螺旋天线的倍频程也只有 1.5 - 2 倍频程。所以 ,结合椭圆极化波极化图的概念 ,系统地推导出线极化波与椭圆极化波及其两者特征参量之间的关系具有非常重要的意义 ,为在空间飞行器上使用线天线接收椭圆极化波的设计提供理论依据。

1 同频率线极化波和椭圆极化波关系分析

取一个线极化波 E_x 的电场方向为 x 方向 ,另一个线极化波 E_y 的电场方向为 y 方向 ,如图 1 所示。

$$\begin{cases} E_x = E_1 \sin \omega t \\ E_y = E_2 \sin(\omega t + \delta) \end{cases} \quad (1)$$

式中 E_1 是 E_x 波的振幅 , $\omega = 2\pi f$, f 为频率 ; E_2 是 E_y 波的振幅 , δ 是 E_y 超前 E_x 的相位角。则某一瞬间 t 在 O 点的合成矢量 $\vec{E}(t) = E_x \vec{x}_0 + E_y \vec{y}_0$,其中 \vec{x}_0 是沿 x 轴正方向的单位矢量 , \vec{y}_0 是沿 y 轴正方向的单位矢量。则由 E_x 和 E_y 合成的电场矢量为 :

$$\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y \cos \delta}{E_1 E_2} + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2 \delta \quad (2)$$

式 2 可写为 : $A E_x^2 - B E_x E_y + C E_y^2 = 1$,其中 $A = \frac{1}{E_1^2 \sin^2 \delta}$, $B = \frac{2 \cos \delta}{E_1 E_2 \sin^2 \delta}$, $C = \frac{1}{E_2^2 \sin^2 \delta}$ 。这是一个椭圆方

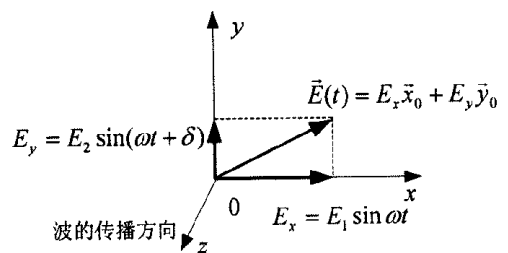


图 1 E_x 和 E_y 的电场方向示意图

程表明由 E_x 和 E_y 合成的电场矢量的端点画出的轨迹是一个椭圆。在一般情况下,两个互相垂直的同频率线极化波的合成波为如图 2 所示的与 x 轴有一个倾角 τ 的椭圆极化波。

2 椭圆极化波的极化图分析

由图 2 知,椭圆极化波的瞬时电场 $\vec{E}(t)$ 在任意方向 ϕ 的投影为 $E_\phi(t) = \vec{E}(t) \cdot \vec{\phi}_0$ ($\vec{\phi}_0$ 是沿 ϕ 方向的单位矢量), $\vec{E}(t) = E_x(t)\vec{x}_0 + E_y(t)\vec{y}_0$ (\vec{x}_0 和 \vec{y}_0 分别是沿 x 轴和 y 轴的单位矢量), $\vec{\phi}_0 = \cos\phi\vec{x}_0 + \sin\phi\vec{y}_0$ 。则有:

$$E_\phi(t) = (E_1 \cos\phi + E_2 \sin\phi \cos\delta) \sin\omega t + E_2 \sin\phi \sin\delta \cos\omega t \quad (3)$$

$$E_1 \cos\phi + E_2 \sin\phi \cos\delta = E_\phi \cos\gamma \quad (4)$$

$$E_2 \sin\phi \sin\delta = E_\phi \sin\gamma \quad (5)$$

把式 4、5 代入式 3 则有:

$$E_\phi(t) = E_\phi \sin(\omega t + \gamma) \quad (6)$$

由式 4、5 可知:

$$E_\phi^2 = \frac{1}{2} [E_1^2 + E_2^2 + (E_1^2 - E_2^2) \cos 2\phi + 2E_1 E_2 \sin 2\phi \cos\delta] \quad (7)$$

由式 6 可知,椭圆极化波的场强 \vec{E} 在任意方向 ϕ 的投影(或叫分量)为一个线极化波,此线极化波的场强 $E_\phi(t)$ 的振幅 E_ϕ 与 E_1 、 E_2 、 δ 和 ϕ 有关。当 E_1 、 E_2 和 δ 给定时, E_ϕ 只是 ϕ 的函数。 E_ϕ 与 ϕ 的关系图称为椭圆极化波的极化图。所以极化图是椭圆极化波的场强 \vec{E} 在同一平面内任意方向投影的振幅分布图。极化图的最大值等于椭圆的长轴,极化图的最小值等于椭圆的短轴,即极化图的最大值和最小值分别与极化椭圆的最大值和最小值重合。

3 合成波特征参量分析

3.1 椭圆极化波的倾角(τ)

如图 3 所示,倾角是指椭圆的长轴 OA 与 x 坐标轴之间的夹角,以 τ 表示。它与线极化分量的参数 E_1 、 E_2 和 δ 之间的关系可推导如下:

取一组新坐标 x' 、 y' ,并令 x' 轴与长轴 OA 重合, y' 轴与短轴 OB 重合,则有: $E_x = E_x' \cos\tau - E_y' \sin\tau$, $E_y = E_x' \sin\tau + E_y' \cos\tau$ 。将此关系代入式 2 并作整理,可得:

$$\begin{aligned} E_x^2 & \left\{ \frac{\cos^2\tau}{E_1^2 \sin^2\delta} - \frac{\sin 2\tau \cos\delta}{E_1 E_2 \sin^2\delta} + \frac{\sin^2\tau}{E_2^2 \sin^2\delta} \right\} \\ & + E_x' E_y' \left\{ \frac{\sin 2\tau}{E_2^2 \sin^2\delta} - \frac{2 \cos 2\tau \cos\delta}{E_1 E_2 \sin^2\delta} - \frac{\sin^2\tau}{E_1^2 \sin^2\delta} \right\} \\ & + E_y'^2 \left\{ \frac{\cos^2\tau}{E_2^2 \sin^2\delta} + \frac{\sin 2\tau \cos\delta}{E_1 E_2 \sin^2\delta} + \frac{\sin^2\tau}{E_1^2 \sin^2\delta} \right\} = 1 \quad (8) \end{aligned}$$

由于 x' 轴与长轴 OA 重合, y' 轴与短轴 OB 重合(即对 x' 、 y' 坐标而言,椭圆为标准椭圆),所以对式 8 而言, $E_x' E_y'$ 项的系数应为零,可得倾角 τ :

$$\tau = \frac{1}{2} \lg^{-1} \frac{2E_1 E_2 \cos\delta}{E_1^2 - E_2^2} \quad (9)$$

3.2 椭圆极化波的长轴、短轴和轴比

由于 $E_x' E_y'$ 项的系数为零,所以由式 8 可知轴比 AR :

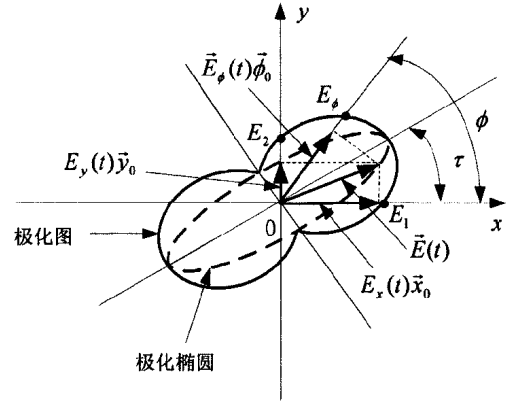


图 2 极化椭圆和极化图

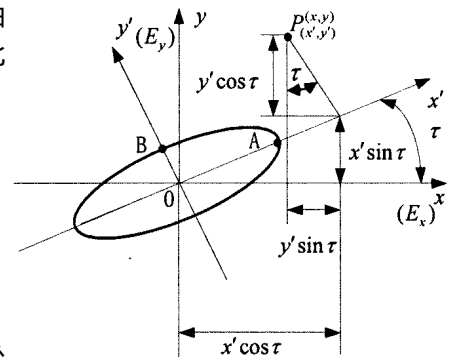


图 3 椭圆极化波的倾角示意图

$$AR = \sqrt{\frac{E_1^2 \cos^2 \tau + E_1 E_2 \sin 2\tau \cos \delta + E_2^2 \sin^2 \tau}{E_1^2 \sin^2 \tau + E_1 E_2 \sin 2\tau \cos \delta + E_2^2 \cos^2 \tau}} \quad (10)$$

3.3 椭圆极化波的旋向

椭圆极化波的电场矢量 \vec{E} 的旋转方向称为旋向。有两种旋向,一种是顺时针方向旋转,另一种是逆时针方向旋转,如图3所示。若用 $E_x = E_1 \sin \omega t$ 和 $E_y = E_2 \sin(\omega t + \delta)$ 表示两个分量。则当 $0^\circ < \delta < 180^\circ$ 时,合成电场 \vec{E} 由 E_y 方向向 E_x 方向旋转,即顺时针方向旋转;当 $-180^\circ < \delta < 0^\circ$ (或 $180^\circ < \delta < 360^\circ$)时,合成电场 \vec{E} 由 E_x 方向向 E_y 方向旋转,即逆时针方向旋转。当传播方向沿正 z 方向时,则顺时针方向的旋向为左旋,逆时针方向的旋向为右旋;当传播方向沿负 z 方向时,则顺时针方向的旋向为右旋,逆时针方向的旋向为左旋。

3.4 椭圆极化波的能量密度

已知一线极化波(平面波) E_0, H_0 分别代表线极化波的电场强度和磁场强度的振幅,且有 $H_0 = E_0/\eta$, η 为所在介质的波阻抗,当介质为空气或真空时 $\eta = 120\pi = 377\Omega$,所以线极化波的能量密度 $S = \frac{1}{2} E_0 H_0 = \frac{1}{2\eta} E_0^2$ 。

一个椭圆极化波的能量密度等于合成它的两个互相垂直(即正交)的线极化波的能量密度之和,所以由 $E_x = E_1 \sin \omega t$ 和 $E_y = E_2 \sin(\omega t + \delta)$,可得合成的椭圆极化波的能量密度:

$$S = \frac{1}{2\eta} (E_1^2 + E_2^2) \quad (11)$$

可见椭圆极化波的能量密度由合成它的两个互相正交的线极化波的电场强度的振幅决定,而与两线极化波之间的相位关系无关。

4 结 论

通过结合极化图的概念,系统地推导了线极化波和椭圆极化波两者特征参量之间的关系,为低频率、宽频带的椭圆极化波接收天线研制提供了理论基础,据此设计出了用按一定角度排列的有源线天线来接收椭圆极化波,同样可以方便地确定所接收椭圆极化波的极化参数和能量密度,成功地克服了星载接收天线设计中低频率与天线小尺寸、宽频带和圆极化两对矛盾。

参考文献

- [1] 林昌禄. 天线测量技术[M]. 成都:成都电讯工程学院出版社,1987.136-153.
- [2] 毛乃宏,俱新维. 天线测量手册[M]. 北京:国防工业出版社,1987.136.
- [3] Stanley J Radzevicius, Jeffrey J Daniels. Ground penetrating radar polarization and scattering from cylinders[J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 45(5):111-125.

Theoretical Study of Linear Polarization Antenna Receiving Elliptical Polarization Wave for Space Vehicle

PANG Feng¹, SHI Hu-li², GENG Jian-ping³

(1. Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018, China;

2. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

3. Guilin Institute of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract Linear polarization active antenna is advised to receive low frequency and broad frequency band wave. The relationship between their characteristic parameters are concluded from the relationship between linear polarization wave and elliptical polarization wave together with the concept the polarization graph of elliptical polarization wave, and can be used as the theoretical base of receiving elliptical polarization wave by linear polarization antenna and the measurement of energy density and polarization parameters of elliptical polarization wave.

Key words linear polarization wave; polarization graph; elliptical polarization wave; Characteristic parameters

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),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>