

用于星载 SAR 的双频双极化天线¹

马小玲 王贞松*

(中央民族大学物理与电子工程系 北京 100081)

*(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

摘 要 该文设计了共用一个物理孔径的双频双极化的微带天线。天线采用了可折叠的充气式聚酯薄膜介质结构,有较小的介电常数,较大的相对带宽。天线采用孔径耦合馈电方式,对 L 波段和 S 波段的馈电线路可各自优化。讨论了此天线的交叉极化特性和阻抗匹配,计算了天线的各个参数和天线用于星载 SAR 时的系统性能指标。

关键词 微带天线,单口面双频双极化天线,星载 SAR

中图分类号 TN820, TN958

1 引言

合成孔径雷达 (SAR) 卫星是利用星载 SAR 观测地球,所涉及的基本参数是被观测区域的后向散射系数 σ^0 ,它取决于所照射地域的物质常数(导电率,介电常数)和表面粗糙度以及所选取的电磁波频率、极化和入射角。从 1GHz 到 10GHz 频率范围内,介电常数和导电率对频率的依赖关系变化明显,是星载 SAR 发现和识别各类不同目标性质的合适波段。波长越短,越能够精确地描述目标的细微形状;但是,波长越长,穿透力越强^[1,2]。

极化是指电磁波在一个振荡周期内电场矢量在空间的方向。不同极化下,同一地物的回波强弱不同,图像的色调也不一样,甚至 HH 与 VV 图像相比,在一些主要方面是各不相同的。因此, SAR 使用多极化多频率的信号可获取更多的地物目标信息^[1,2]。

最早的实际的微带天线是 Howell 和 Munson 在 20 世纪 70 年代初期研制成的。之后,基于微带天线的许多优点,例如重量轻、体积小、成本低、平面结构,可以和集成电路兼容等,微带天线得到了广泛地研究和发展,从而使微带天线获得了多种应用。在星载 SAR 的应用中,由于其体积和重量的限制,以及为满足不断增多和不断提高的性能指标要求,对微带天线的研究正蓬勃展开。

为适应星载合成孔径雷达天线的发展需要,这里设计共用一个物理孔径的 L 波段和 S 波段的双线形极化的 SAR 天线^[3]。

天线对 L 波段(中心频率 $f_{r1} = 1.40\text{GHz}$)水平极化,对 S 波段(中心频率 $f_{r2} = 2.60\text{GHz}$)垂直极化。

2 单口面双频双极化微带天线的设计方案

2.1 天线单元设计方案

为使天线结构简单紧凑,这里选用矩形贴片,参见图 1。获得矩形微带天线双频工作的简单方法是使单元的长度对一个频率谐振,其宽度对另一频率谐振,从相邻的两边馈电^[4,5]。贴片和接地板材料选用铜,其电导率 $\sigma = 1.57 \times 10^7 \text{S/m}$;中间的介质层设计为充气的聚酯薄膜(可用强力胶带和碳纤维管框架来保证所要求的天线平整度),其参数见表 1,利用平行板电容器和静电场中的电介质的理论^[6],可计算出充气的聚酯薄膜的平均介电常数 $\epsilon'_r = \epsilon_r d / [\epsilon_r(d-2t) + 2t] = 1.037$,聚酯薄膜损耗角正切 $\tan\delta = 0.005$,空气损耗角正切 $\tan\delta \approx 0$ 。这里,选择 TM_{01} 模(相对于

¹ 2001-06-12 收到, 2002-03-26 定稿

国家自然科学基金(NFNS 69896250-2)资助

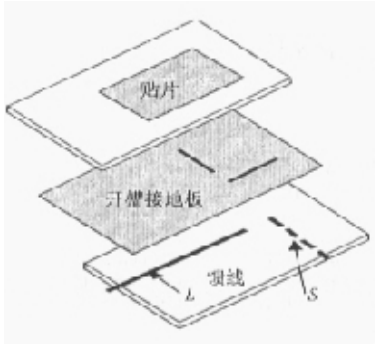


图 1 单元结构及馈电示意图

长度谐振)和 TM_{10} 模(相对于宽度谐振)。在这种情况下,两个频率的比率大约等于贴片两正交边的比率,这种方法的明显局限是这两个不同频率会激励出正交极化分量,在极化指标能达到的情况下,这一简单的方法对于低成本应用是很有价值的。

贴片单元的介质材料参数和谐振频率如表 1 所示。表 2 示出单元天线的尺寸和等效介电常数。

表 1 天线贴片单元介质材料参数和谐振频率						
空气介质 厚度 (cm)	聚酯薄膜 厚度 (cm)	总介质厚度 (cm)	聚酯薄膜 介电常数	平均介电常 数	谐振频率 f_{r1} (GHz)	谐振频率 f_{r2} (GHz)
0.76	0.02	0.80	3.40	1.037	1.40	2.60

表 2 天线贴片单元尺寸						
等效介电常 数 E_e^{*1}	延伸长度 ΔL (cm)	延伸宽度 ΔW (cm)	物理长度 L_0 (cm)	物理宽度 W_0 (cm)	等效物理长 度 L (cm)* ²	等效物理宽 度 W (cm)* ³
1.029	0.52	0.54	9.51	4.59	10.55	5.67
1.031						

*¹: 分别对应于 TM_{01} 模和 TM_{10} 模; *²: $L = L_0 + 2\Delta L$; *³: $W = W_0 + 2\Delta W$ 。

2.2 馈电线路的考虑

微带天线的馈电方式有多种,用得最普遍的有微带线馈电、探针馈电、孔径耦合馈电和邻近耦合馈电 4 种。

基于对结构和性能的考虑,对两个波段都采用孔径耦合馈电方式,如图 1 所示。在孔径耦合馈电中,传输线通过接地板上的槽缝对辐射元馈电。在基片间的接地板将辐射元和馈电网络隔开,减少寄生辐射对方向图和极化纯度的影响。在设计中,可通过调整基片的介电常数、馈线宽度、缝隙尺寸和位置来进行优化。一般通过控制馈线宽度和缝隙长度来进行匹配。

在这里, L 波段和 S 波段的馈线是分开的,可各自进行优化。L 波段的馈线贴在接地板下的聚酯薄膜上;下面再贴一层聚酯薄膜,然后敷贴上 S 波段的馈线。辐射单元和馈电线路如图 1 所示。

3 双频双极化贴片单元指标参数

对于星载 SAR 系统总的性能影响最显著的一个因素就是天线的性能。包括系统的灵敏度、距离向和方位向的空间分辨率、图像模糊度、以及条带宽度。这些性能主要受天线波束形状和波束扫描能力的影响。在空间环境中应用时,天线的体积和重量是有一定限制的,因此,天线性能的优化必须在此基础上完成。而双频双极化技术能极大地提高 SAR 所获取的数据的价值。

在双极化系统里,极化纯度是另一个重要的特性参数。在主瓣区域,对于极化纯度的要求,典型参数是:在主波束区域内,交叉极化电平比主极化峰值低 25dB;在主波束区域外,交叉极化电平比主极化峰值低 20dB。

仰角和方位角的波束宽度由天线的孔径尺寸、单个单元的幅度和相位激励决定。

天线增益由孔径尺寸和图像的分辨率决定。当孔径尺寸和单元间距给定后,天线增益的优化在于选择高方向性的辐射单元和减少损耗。天线增益随频率和温度范围的变化认为是随频率

变化的元件的相位误差, 电压驻波比 (VSWR), 单元增益的变化, 相互耦合以及其它一些因素的作用。从 SAR 系统的观点看, 在每个波段保持天线增益的稳定是很重要的。

3.1 贴片单元的电路指标参数: 品质因数 Q 值、带宽、输入阻抗

参见文献 [7, 8], 利用矩形贴片传输线模型的结论, 可计算出贴片单元的品质因数和相对带宽, 见表 3。

表 3 天线单元品质因数和相对带宽					
谐振频率 (GHz)	Q_U	Q_c	Q_r	Q_T	带宽 *
1.4	200	2360	7.0	6.7	6.1%
2.6	200	3216	3.8	3.7	11.0%

电压驻波比不大于 1.5

输入阻抗 Z_{in} 的计算在天线设计中是关键性步骤, 它对馈电网络的设计及匹配的实现起重要作用。

利用口径耦合的电磁耦合型馈电结构: 贴片印制在天线基片上, 然后置放在刻蚀有微带馈线的馈源基片上。二者之间有一带有矩形缝隙的接地板。微带线通过此口径来对贴片馈电, 口径尺寸将控制由馈线至贴片的耦合, 采用长度上比贴片稍小的口径一般可获得满意的匹配 [8,9]。

如图 2 示出口径耦合结构几何关系及等效电路 [8,9], 其中 Y_p 是基片上贴片的输入导纳, ΔV 为微带馈线上由接地板上缝隙引入的模电压变化量, V_0 为缝隙电压, Y_a 为缝隙近场储能引入的电纳, Z_c 为开路微带线的特性阻抗。

对于两个谐振频率, 分别调整馈电点位置和槽线的长度, 以及开路线的长度, 使得输入阻抗为纯电阻, 且为 50Ω 。各参数见表 4。

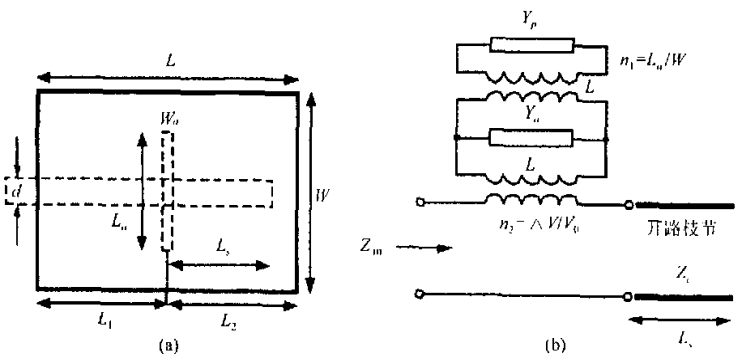


图 2 口径耦合结构几何关系及等效电路

3.2 贴片单元的辐射指标参数

3.2.1 交叉极化特性 在双极化卫星通信系统中, 对天线的极化纯度有较高的要求。其电参数是交叉极化鉴别率。

下面分析两个主模 TM_{01} , TM_{10} 在其主平面的极化特性 [7,10]。对它们的分析从两个方面进行:

(1) 考虑主平面上其它模式相同极化的场分量的影响, 定义为

$$X_p = \max(|E_p|^2) / \max \left(\left| \sum_{m,n} E_p \right|^2 \right)$$

(2) 考虑主平面上其它模式交叉极化的场分量的影响, 定义为

$$X = \max(|E_p|^2) / \max \left(\left| \sum_{m,n} E_c \right|^2 \right)$$

式中下标 p 和 c 分别代表主极化 (primary polarizaion) 和交叉极化 (cross polarization) 分量。 $\sum_{m,n}$ 中 (m,n) 不包括正在考虑的主模, m,n 不同时为零, 其最大值都取为 4。参见表 2 和表 4, TM_{01} 模和 TM_{10} 模的馈电点分别为 (2.295cm, 3.913cm)、(1.75cm, 4.755cm), 其交叉极化数据计算如表 5 所示。

3.2.2 方向性系数 D 、增益 G 、天线效率 η_A 、H 面和 E 面半功率波束宽度 θ_{BH} 和 θ_{BE} 参见文献 [7, 8, 10], 以及天线的辐射场可计算出天线辐射指标如表 6 所示。

表 4 单元天线孔径耦合的参数设置及输入阻抗

谐振频率 (GHz)	L_1 (cm)	L_a (cm)	W_a (cm)	L_s (cm)	d (cm)	l (cm)	ε_{r1}	ε_{r2}	$Z_{in}(\Omega)$
1.4	3.913	3.5	0.2	2.516	1.0	0.2	1.037	3.4	50
2.6	1.75	4.0	0.2	2.973	1.0	0.4	1.037	3.4	50

表 5 TM_{01} 模和 TM_{10} 模的交叉极化参数

谐振频率 (GHz)	X_p (dB)($\varphi = 0^\circ$)	X_p (dB)($\varphi = 90^\circ$)	X (dB)($\varphi = 0^\circ$)	X (dB)($\varphi = 90^\circ$)
1.4	60	50	52	52
2.6	56	53	55	31

表 6 天线贴片单元辐射参数

谐振频率 (GHz)	极化平面	天线效率 [*] η_A	波束宽度 ($^\circ$) ($\varphi = 0^\circ$)	波束宽度 ($^\circ$) ($\varphi = 90^\circ$)	辐射电阻 (Ω)	方向性系数 (dB)	天线增益 (dB)
1.40	E	80%	83.4	60.8	867	9.2	8.2
2.60	H	80%	63.0	50.2	113	10.8	9.8

* 天线的辐射功率损耗系数取为 90%, 驻波系数取为 2.0。

4 组 阵

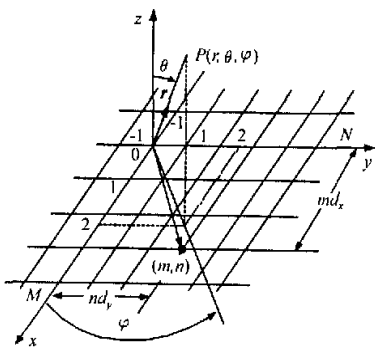


图 3 矩形平面阵

为得到所需要的系统指标, 将如图 1 所示的单元天线组成如图 3 所示的矩形平面阵, 单元个数以及单元间距如表 7 所示。

当天线阵单元馈电情况如图 4, 图 5 所示时, 参见文献 [10, 11], 计算出天线阵指标参数, 如表 8 所示。

表 7 矩形阵阵面设计

方 向	参 数		
	单元个数	单元间距 (cm)	天线尺寸 (cm)
y 方向	141	11.35	16.00
x 方向	81	7.73	6.26

表 8 天线阵性能指标

性能指标	谐振频率	
	$f_{r1} = 1.40 \text{ GHz}$	$f_{r1} = 2.60 \text{ GHz}$
方向性系数 (dB)	33.4	36.0
增益 (dB)	32.4	35.0
波束宽度 $^{\circ}$	2.6, 7.0	1.0, 7.0
辐射电阻 $R_r^*/(\Omega)$	3.0k	163
极化方式	E	H

注 $^{\circ}$ ：方位向波束宽度，距离向波束宽度
 * ：天线阵辐射的总功率 P_r 与单元天线馈电电流的平方之和的比值，即 $R_r = 2P_r / \sum_{m,n} I_{mn}^2$ ，其中 m, n 分别是天线阵的行号和列号， $m \in [-M, M], M = 40; n \in [-N, N], N = 70$ 。

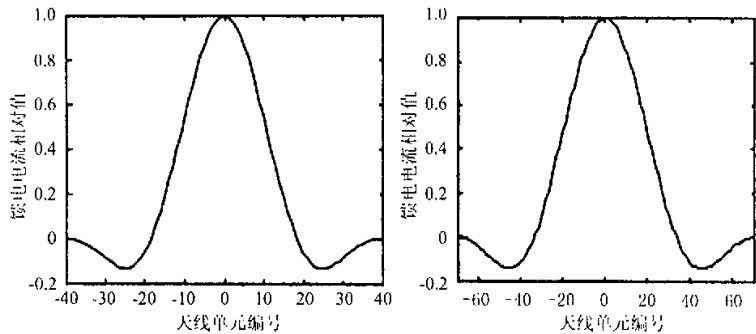


图 4 单元馈电电流情况 ($f_{r1} = 1.40 \text{ GHz}$)

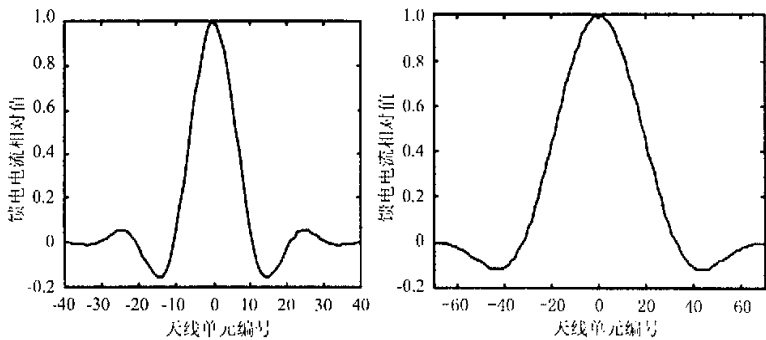


图 5 单元馈电电流情况 ($f_{r2} = 2.60 \text{ GHz}$)

5 L 波段水平极化的星载 SAR 系统特性^[12,13]

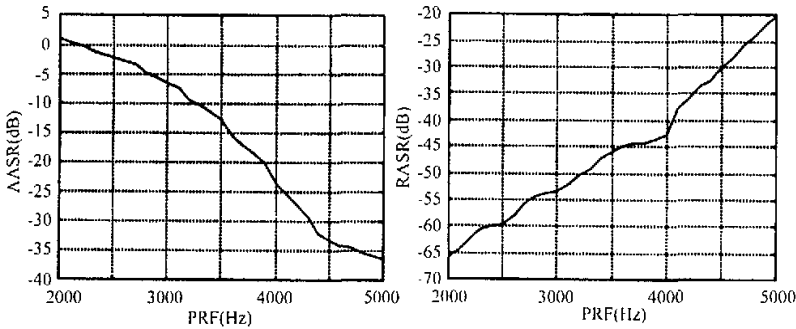
雷达的线性调频信号，其脉宽 $\tau = 30\mu\text{s}$ ，带宽 $B = 62\text{MHz}$ ，可得雷达距离向分辨率：

$$\rho_R = c/(2B) = (3.0 \times 10^8)/(2 \times 62 \times 10^6) = 2.4 \text{ (m)}$$

据表 8，L 波段 ($\lambda = 21.4\text{cm}$) 方位向天线波束宽度 $\beta = 2.6^\circ$ 时，可求得方位向分辨率：

$$\rho_a = \lambda/(2\beta) = 2.4 \text{ (m)}$$

如图 4 所示的单元馈电情况时，系统的距离模糊度和方位模糊度随 PRF 的变化如图 6 所示。表 9 示出 L 波段 SAR 的指标参数。



(a) 方位模糊度 (AASR) (b) 距离模糊度 (RASR)
图 6 方位模糊度与距离模糊度随 PRF 变化 ($f_{r1} = 1.40\text{GHz}$)

表 9 L 波段 SAR 的指标参数

参数	数值	参数	数值
卫星高度 (km)	300	多普勒带宽 B_D (Hz)	3467
卫星速度 V_S (m/s)	7769.5	雷达天线下视角 ($^\circ$)	30
载波频率 f_{r1} (GHz)	1.40	测绘带宽度 (km)	50.2
波长 λ (cm)	21.4	PRF (Hz)	4100
脉宽 τ (μs)	33	天线阵增益 (dB)	32.4
距离向波束中心离地面距离 R_0 (km)	349	接收回波窗口的最小值 (μs)	208.6
运行噪声系数 F_{op}	1.65	距离向分辨率 δ_r (m)	2.4
系统噪声温度 T_s (K)	450	方位向分辨率 ρ_a (m)	2.4
图像信噪比 SNR (dB)	10	峰值功率 P (W)	473
后向散射系数 σ (dB)	-15	平均功率 P_T (W)	64
方位模糊度 (dB)	-25.5	距离模糊度 (dB)	-37.9

6 S 波段垂直极化的 SAR 特性^[12,13]

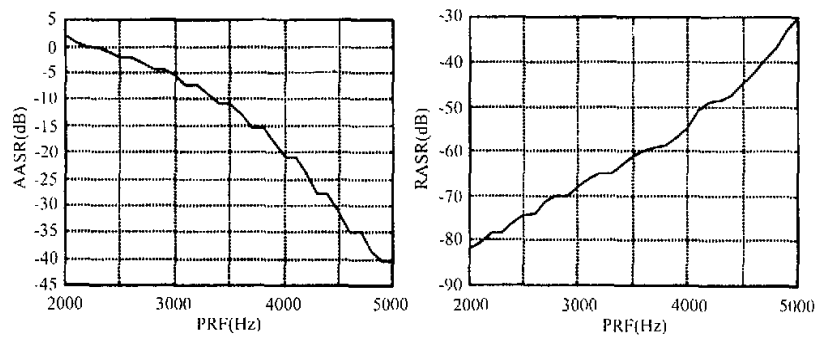
雷达的线性调频信号，其脉宽 $\tau = 30\mu\text{s}$ ，带宽 $B = 62\text{MHz}$ ，可得雷达距离向分辨率：

$$\rho_R = c/(2B) = (3.0 \times 10^8)/(2 \times 62 \times 10^6) = 2.4 \text{ (m)}$$

据表 8，S 波段 ($\lambda = 11.5\text{cm}$) 方位向天线波束宽度 $\beta = 1.4^\circ$ 时，可求得方位向分辨率：

$$\rho_a = \lambda / (2\beta) = 2.4 \text{ (m)}$$

如图 5 所示的单元馈电情况时, 系统的距离模糊度和方位模糊度随 PRF 的变化如图 7 所示, 表 10 示出 S 波段 SAR 的指标参数。



(a) 方位模糊度 (AASR) (b) 距离模糊度 (RASR)

图 7 方位模糊度与距离模糊度随 PRF 变化 ($f_{r2} = 2.60\text{GHz}$)

表 10 S 波段 SAR 的指标参数

参数	数值	参数	数值
卫星高度 (km)	300	多普勒带宽 B_p (Hz)	3444
卫星速度 V_s (m/s)	7769.5	雷达天线下视角 ($^\circ$)	30.0
载波频率 f_{r2} (GHz)	2.60	测绘带宽度 (km)	50.2
波长 λ (cm)	11.5	PRF (Hz)	4100
脉宽 τ (μs)	33	天线阵增益 (dB)	35.0
距离向波束中心离地面距离 R_0 (km)	349 (km)	接收回波窗口的最小值 (μs)	208.6
运行噪声系数 F_{op}	1.65	距离向分辨率 δ_r (m)	2.4
系统噪声温度 T_s (K)	450	方位向分辨率 ρ_a (m)	2.4
图像信噪比 SNR (dB)	10	峰值功率 P (W)	910
后向散射系数 σ (dB)	-15	平均功率 P_T (W)	123
方位模糊度 (dB)	-20.8	距离模糊度 (dB)	-50.6

7 结 论

充气的聚酯薄膜结构, 有较小的介电常数和较小的损耗; 当厚度较大时, 贴片天线有较大的带宽。由于聚酯薄膜和铜片都有较好的延展性, 能做成可折叠的结构; 并且重量较轻, 便于运载和伸展。

单口面的双频双极化性能, 在简单的结构下, 可获取较多的目标信息。

本文设计的天线对 L 波段 ($f_{r1} = 1.40\text{GHz}$) 水平极化, 对 S 波段 ($f_{r2} = 2.60\text{GHz}$) 垂直极化。基于本文设计的思想可方便地设计成共用同一物理口面的其它波段 (例如 S 波段和 C 波段, C 波段和 X 波段) 的多种极化的天线。

对于本文提出的充气式的介质和可折叠的结构, 对于天线的运输和伸展都极为有利。因此, 除了星载 SAR 上的应用, 在其它的应用环境也有较大的优势。例如, 在野外环境中信号的发射和接收。

本文中对微带天线的分析和计算主要采用了矩形贴片天线的传输线模型和空腔模型,因此,所得结果有一定的近似性。可用电磁场仿真软件或实验来获得更为准确的结果。

在 300km 的高空,充气式的薄膜天线可通过在地面折叠时剩余气体的内外压强差而展开。但每一次展开、昼夜温差都会使形状有一定的变化,特别是空间垃圾也使薄膜有漏气的可能。因此,好的材料和工艺就显得更为重要。

参 考 文 献

- [1] 魏钟铨,王贞松,陈元藻,李春升,高选正等,合成孔径雷达卫星,北京,科学出版社,2001年2月,第一章。
- [2] R. L. Jordan, B. L. Huneycutt, M. Werner, The SRR-C/X-SAR synthetic aperture radar system, Proc. IEEE, 1991, 79(6), 823-837.
- [3] 王贞松,马小玲,微带、可折叠、双频双极化宽带天线,专利号: ZL 00 2 42902.0, 2000 年 7 月 6 日。
- [4] S. Maci, G. Biffi Gentili, Dual-frequency patch antennas, IEEE Antennas & Propagation Magazine, 1997, 39(6), 13-20.
- [5] Ralph Pokuls, Jaroslaw Uher, D. M. Pozar, Dual-frequency and dual-polarization microstrip antennas for SAR applications, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1998, AP-46(9), 1289-1296.
- [6] 梁灿彬,秦光戎,梁竹健,电磁学,北京,高等教育出版社,1980年12月,147-160.
- [7] 钟顺时,微带天线理论与应用,西安,西安电子科技大学出版社,1991,50.
- [8] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, Microstrip Antenna Design Handbook, Norwood, Artech House, 2001, Chapter 1, 4.
- [9] M. Himdi, J. P. Daniel, C. Terret, Transmission line analysis of aperture-coupled microstrip antenna, Electron. Lett., 1989, 25(18), 1229-1230.
- [10] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, second edition, New York, JOHN WILEY & SONS INC., 1997, Chapter 6, 14.
- [11] D. M. Pozar, Analysis of an infinite phased array of aperture coupled microstrip patches, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1989, AP-37(4), 418-425.
- [12] 张澄波,综合孔径雷达——原理、系统分析与应用,北京,科学出版社,1989,11,第三章。
- [13] G. Franceschetti, R. Lanari, Synthetic Aperture Radar Processing, Boca Raton, CRC Press LLC, 1999, Chapter 1, 6.

THE DUAL-FREQUENCY AND DUAL-POLARIZATION MICROSTRIP ANTENNA FOR SPACE-BORNE SAR APPLICATION

Ma Xiaoling Wang Zhensong*

(Central University of Nationalities, Beijing 100081, China)

*(Institute of Computing Technology, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract The dual-frequency and dual-polarization microstrip antenna for space-borne SAR application is presented. The antenna uses a single aperture, and folded configuration with aired plastic film. The patch antenna has low substrate dielectric constant and wide bandwidth. The cross-polarization isolation and impedance matching are discussed. The characteristics of the space-borne SARs using this light configuration antenna are analyzed.

Key words Microstrip antenna, Single aperture dual-frequency and dual-polarization antenna, Space-borne SAR

马小玲: 女, 1968 年生, 博士, 主要从事通信与遥感、天线技术方面的研究。

王贞松: 男, 1945 年生, 研究员, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事无线电物理、微波遥感技术、合成孔径雷达成像系统方面的研究。

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>