

# 宽带双波段双极化共口径 SAR 天线设计

孙 竹<sup>1</sup>, 钟顺时<sup>1</sup>, 孔令兵<sup>1</sup>, 高 初<sup>2</sup>, 汪 伟<sup>2</sup>, 金谋平<sup>2</sup>

(1. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072;

2. 华东电子科技集团第三十八研究所, 安徽合肥 230031)

**摘 要:** 介绍了一种应用于合成孔径雷达(SAR)的 X 和 S 双波段双极化(DBDP)共用口径宽带天线阵的设计与测试结果. 针对以往同类天线低频百分比带宽明显较高频窄的缺点, 设计中采用了三谐振技术来展宽低频波段的带宽; 并综合采用多种方法以改善两个波段的极化隔离度. 经实测, 样阵 X 和 S 波段的带宽( $V_{SWR} \leq 2$ )分别达到 13.1% 和 11%; 带内阵列隔离度优于 37dB, 单元隔离度优于 28dB; 阵列方向图与理论均吻合很好, 主瓣内交叉极化优于 27dB; X 波段扫描能力达  $\pm 27^\circ$ .

**关键词:** 宽带; 高隔离度; 双波段; 双极化; 共用口径; 微带天线阵; 非整数频率比; 合成孔径雷达天线

**中图分类号:** TN821.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2012)03-0542-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.03.022

## Design of Broadband Dual-Band Dual-Polarized Share-Aperture SAR Antenna

SUN Zhu<sup>1</sup>, ZHONG Shun-shi<sup>1</sup>, KONG Ling-bing<sup>1</sup>, GAO Chu<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>2</sup>, JIN Mou-ping<sup>2</sup>

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. China Electronics Technology Group Corporation No.38 Research Institute, Hefei, Anhui 230031, China)

**Abstract:** A broadband dual-band dual-polarized (DBDP) shared-aperture array operating at X- and S- bands for the synthetic aperture radar (SAR) application is presented. Tri-resonance is introduced in the lower frequency element to broaden its intrinsic narrower bandwidth. Furthermore, several methods are employed to enhance the polarization isolation in both bands.  $V_{SWR} \leq 2$  bandwidths of 13.1% and 11% are measured in X- and S- band, respectively, where in-band array isolation and element isolation are better than 37dB and 28dB. The measured radiation patterns match well with the theoretical ones while the cross-polarization level is suppressed under -27dB within mainlobe; the X-band scan ability of  $\pm 27^\circ$  is also confirmed by the measurement.

**Key words:** broad band; high isolation; dual-band; dual-polarization; shared aperture; microstrip array; non-integral frequency ratio; SAR antenna

## 1 引言

2000年2月,美国“奋进号”航天飞机所载的 SIR-C/X-SAR 合成孔径雷达(X波段单极化,L/C波段双极化)完成了高分辨率的全球三维测绘,显示了多波段多极化工作的 SAR 的突出优点,即:不同的频段和极化可以带回更多的目标信息,赋予雷达更多手段探测和分辨目标.但是,由于 SIR-C/X-SAR 雷达的三个波段天线阵采用独立口径设计,天线庞大笨重,其总质量超过 3t,天线口径面宽度超过 4m<sup>[1]</sup>.

双波段双极化(DBDP)共用口径天线阵技术是克服这一弊端的最有前景的解决方案.在过去的 20 年中,国内外已提出过不少 DBDP 共口径天线阵的方案.按阵面分布结构可大致分为两类:(1)“打孔单元/贴片”方案,包括“打孔贴片/贴片”<sup>[2~4]</sup>,以及“环天线/贴片”<sup>[5~7]</sup>和“十字贴片/贴片”<sup>[8,9]</sup>三种结构,其中后两种可视为“打孔贴片/贴片”结构的衍生;(2)“交织结构”,如:“贴片和振子/槽交织”<sup>[10~12]</sup>、“振子(槽)/振子(槽)交织”<sup>[13,14]</sup>.文献[15]对打孔及交织形式进行了总结及分析,文献[16]同时介绍了这两种方案.最近,文献[17,18]报道了

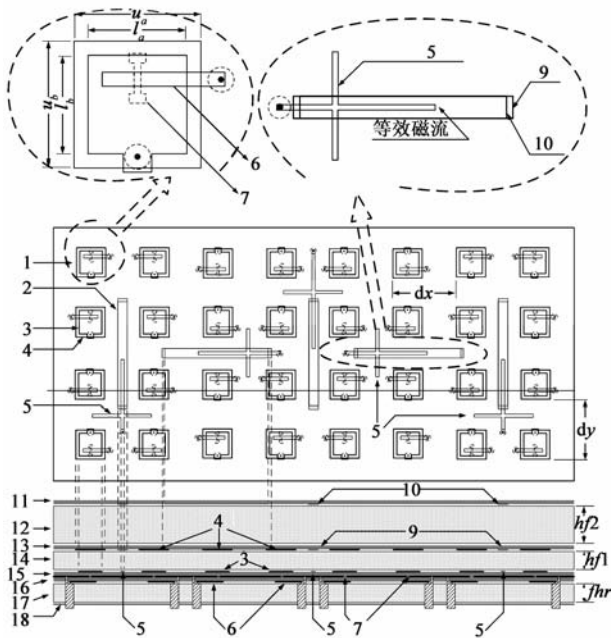
一副  $2 \times 2$  元打孔贴片/贴片单元,综合运用了各种馈电方案,获得了较好的低频带宽特性,并在<sup>[19]</sup>中将其扩展成天线子阵。

不少研究就单元本身进行了探讨.文献[20~22]报道了不同形状的辐射单元.馈电结构上,对诸如探针馈电<sup>[23]</sup>、口径耦合<sup>[20~22]</sup>、邻近耦合<sup>[24]</sup>以及 L 型馈电<sup>[25]</sup>等进行了研究,以确定不同馈电方式对单元性能(主要是隔离度及交叉极化)的影响.此外,发展了平衡馈电<sup>[26,27]</sup>及混合激励<sup>[28~31]</sup>结构,可进一步改善单元的隔离度和/或交叉极化特性。

然而,上面提到的文献[2~12]中存在一个普遍问题,即:低频波段单元的相对带宽约 6~7%,明显小于高频波段单元的相对带宽(>15%).加之其中心频率低,使绝对带宽变得更小,限制了 SAR 在低频段的距离向分辨率.本文介绍的 S/X 双波段双极化共用口径 SAR 天线阵,基于我们课题组 2006 年的工作<sup>[11]</sup>,但针对以往 DBDP 天线阵的不足,在设计中提出三谐振法来展宽低频单元的带宽,并采取多种措施提高极化隔离度,从而实现了先进的性能。

## 2 阵列结构

交织结构在阵面布局上较为灵活,可用于任意频率比<sup>[11]</sup>.鉴于本设计中采用了非整数的频率比,因此采用这种分布,如图 1 所示.天线子阵的 X 波段叠层贴片按方形晶格排列,S 波段叠层窄边贴片(即文献[11]中



1 X波段单元(叠层贴片); 2 S波段单元(叠层窄边贴片); 3 X波段驱动贴片;  
4 X波段寄生贴片; 5 S波段馈网及调谐枝节; 6 X波段水平极化馈线;  
7 X波段水平极化耦合槽; 8 X波段垂直极化探针; 9 S波段驱动窄边贴片;  
10 S波段寄生窄边贴片; 11/13/15/16 介质板(Rogers 6002);  
12/14/17 泡沫; 18 反射板

图1 子阵阵面结构

印刷振子,以下简称“窄片”)交织于贴片之间的空隙中.两个波段均采用“成对反相激励”技术<sup>[32,33]</sup>以改善阵列极化隔离度和交叉极化特性;S 波段窄片呈“T”字型正交配置,以实现双极化.“T”字型的排列方式较文献[11]中“十”字型排列方式具有更好的极化隔离度<sup>[34]</sup>;但“T”字形分布的水平极化阵与垂直极化阵的相位中心不重合.为克服这一缺点,设计中引入了额外的一条垂直极化“窄片”以保持阵面的对称,使两个极化的相位中心均在几何中心相互重合.当然,水平极化阵和垂直极化阵的单元数量不同,会导致二者主瓣宽度略有不同.不过,当阵面口径较大时,这一差异可以忽略不计.而实际的 SAR 天线阵也正是如此,例如 SIR-C/X-SAR 天线的方位向口径长度达 12m。

## 3 X 波段单元设计

X 波段单元采用叠层贴片结构,以展宽带宽.贴片为准方形,这主要是由于其较好的极化隔离度<sup>[31]</sup>和加工鲁棒性.水平极化(口径耦合)的边长( $l_a, u_a$ )略小于垂直极化(探针)的边长( $l_b, u_b$ )以确保两个极化工作于相同频段,因而贴片并非精确正方形而是准方形。

单元采用混合馈电,口径耦合槽和探针分别处于  $l_a$  和  $l_b$  的中心以保证在该方向上的结构对称;地板将口径耦合的馈线与探针物理上隔开,有助于改善单元极化隔离度<sup>[33]</sup>.为给探针馈电的接头留出空间,在  $l_b$  方向上将槽偏向一边.这里没有采用平衡馈电的方式,是因为所需的反相网络较复杂,在 X 波段以及 DBDP 这样紧凑的阵面上,电装较困难、加工可靠性低。

## 4 S 波段单元设计

S 波段采用“窄片”作为辐射单元,通过调整谐振长度可与 X 波段构成任意频率比,结构见图 1.S 波段同样采用了叠层结构,寄生贴片置于顶层介质板(图 1, # 11)下侧,有源贴片则与 X 波段寄生贴片共面(图 1, # 13 下侧).馈电方式采用邻近耦合激励,可以避免直接馈电的垂直结构,简化了加工并减少垂直馈电结构插损.馈线与 X 波段有源贴片共面(图 1, # 15 上侧),对称枝节线可实现阻抗匹配并减小枝节线对交叉极化的影响.水平极化和垂直极化“窄片”的区别仅在于枝节线的位置作了适当调整,以避免与 X 波段单元相干涉,参看图 1。

由于“窄片”带宽较窄(文献[11]中实测带宽约为 8%),本设计的首要目标之一是展宽 S 波段带宽.图 2 是文献[11]与本文中改进的“窄片”的仿真 Smith 圆图对比.文献[11]的曲线(虚线)可以观察到两个谐振圈,其中小谐振圈由叠层贴片产生,匹配于中心实现了双谐振,但这并非最优状态;通过合理调节参数,可以缩

小大谐振环并匹配于中心,实现多谐振,对应的“ $|S_{11}|$ -频率”曲线请参看第5节中的图5.三谐振的另一个优点是,由于潜在带宽(指阻抗变化较缓慢的频段)已充分挖掘,在带宽边缘处,阻抗迅速远离 $50\Omega$ ,形成满意的陡降特性.

窄片的三谐振机理,可从传输线理论和腔模理论两个方面来解释.这两种解释恰如一物的两面,是并行不悖的:(1)传输线匹配:邻近耦合的馈线与枝节线均具有确定长度,只能在单频点实现精确匹配,其余频点不可避免将引入抗性.本例中,将辐射单元和枝节线在频率低端精确匹配到 $50\Omega$ ;并在频率高端使馈网与辐射单元的电抗共轭匹配(主要是有源贴片高度、馈线馈点位置和枝节线位置),产生第三个谐振.(2)腔膜理论:从辐射角度来说,第三个谐振本身就说明有其对应的辐射体.本例中临近耦合馈线的前端开路耦合馈电部分(见图1),相当于一短磁流(类似口径耦合的耦合槽的等效磁流).它除了激励叠层窄片之外,本身也可以产生辐射.由于这段磁流较短,因此第三个谐振的 $Q$ 值较高,所以引入三谐振后,带宽虽然有所增加(与文献[11]相对比,由8%增加至11%),但是增幅并不非常突出.类似的,文献[35]通过使口径耦合槽谐振,也实现了三谐振;由于口径耦合槽 $Q$ 值较低,因此,文献[35]中的三谐振后带宽增加明显,达40%.缺点是文献[35]中槽的低 $Q$ 值是通过后向辐射实现的,前后比性能不理想,而本设计则无此之虞.

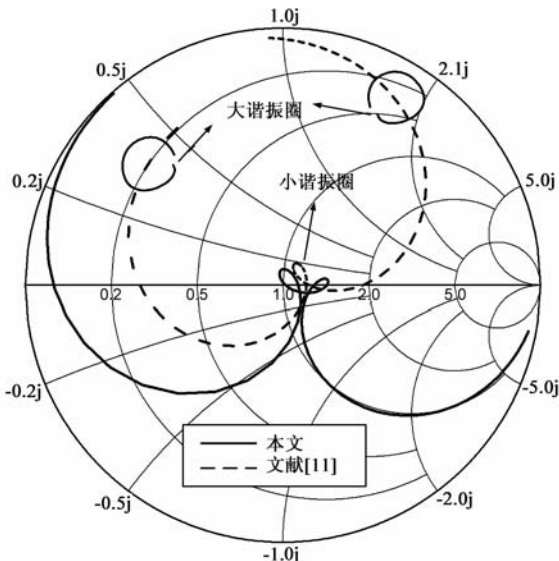


图2 叠层窄贴片片的仿真Smith圆图

## 5 加工与测试结果

样阵(#1~#4子阵,见图3)的 $S$ 参数由Agilent 8722ES矢量网络分析仪测得;方向图在中电三十八所室内远场暗室中测试.所有的器件插损均经实测,在数

据后处理时予以补偿.为避免重复赘述,以下仅给出#3子阵各项实测参数.出于后文叙述清晰起见,对阵面中单元标号规定如下(参看图1): $X$ 波段各行自上而下分别为A~D,各列自左至右1~8,单元以行列序号表示(如左下角单元为D1); $S$ 波段单元较少,自左至右定义为S1~S5.

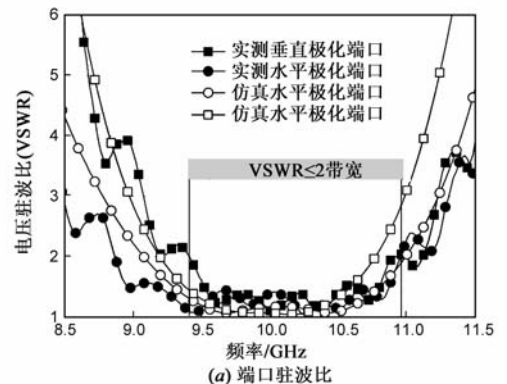


图3 S/X共口径DBDP天线样阵照片

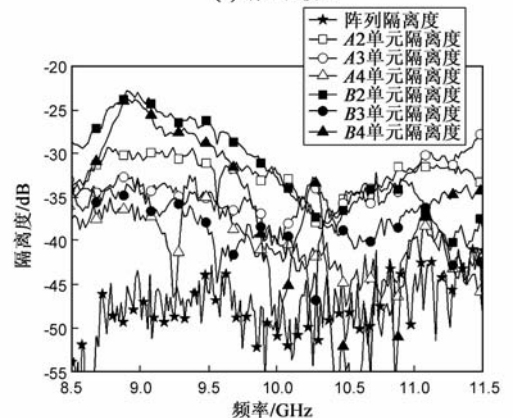
### 5.1 X波段端口参数

图4(a)仅给出了 $X$ 波段某单元的实测VSWR曲线与理论结果,其余各单元一致性较好,不再重复给出.曲线与仿真结果相符,展现了良好的带内波纹特性;垂直极化(探针)工作频段稍偏向高频,这是由于混合激励的层叠结构的加工误差所导致.实测 $VSWR \leq 2$ 带宽(两个极化重叠部分)达到13.1%(9.52~10.83GHz).

图4(b)给出的是实测的单元极化隔离度曲线.该隔离度定义为周围单元的端口均接匹配负载时,同一



(a) 端口驻波比



(b) 极化隔离度

图4 X波段单元端口参数

单元内两个正交极化端口间的隔离度,此指标对于有源相控阵天线有意义.为清晰起见,图中仅给出了子阵中典型单元(A2~A4和B2~B4单元)的隔离度曲线.其余单元由于对称性不再重复给出.得益于探针及口径耦合的混合激励方式,除B2和B4外的所有单元的带内实测极化隔离度均优于30dB.B2和B4单元由于同时紧紧挨着两条S波段“窄片”,受到S波段耦合的影响较严重<sup>[36]</sup>,带内隔离度优于28dB.

图4(b)同时给出了子阵的阵列隔离度.它是指采用馈电网络连接整个阵面后,总的水平极化端口与总的垂直极化端口之间的隔离度(需要补偿馈网的插损).该指标对于传统的无源相控阵天线有意义.由于采用“成对反相馈电”,相邻单元交叉极化分量在馈网中相互抵消,进而改善了阵列隔离度.实测带内阵列隔离度低于-40dB.

## 5.2 S波段端口参数

图5给出了子阵S波段“窄片”的仿真与实测S参数.为清晰起见,仅给出了S1~S3单元的S参数.其中位于阵面正中间的垂直极化“窄片”S3,由于周围X波段单元完全对称分布,受影响较小,表现出明显的三谐振特性;而单元S1由于位于阵面边缘,受边界条件不对称的影响,第三个谐振仅略具形状.由图可知,实测 $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ 带宽达11.1%(324MHz).其中,两个极化的频带的高端均与仿真结果完全吻合,而低端略低于理论值.这是由于实际泡沫高度(图1, #12、#14)与理想模型略有出入,因此提高了带内波纹并向低频展宽了带宽.实测带内相邻单元间极化隔离度优于32dB,验证了“T”型分布的隔离度性能.

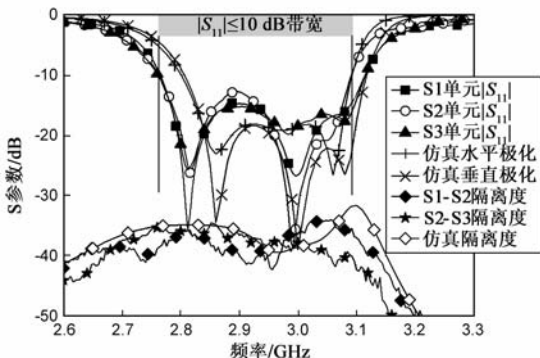


图5 S波段单元实测与仿真S参数

## 5.3 辐射特性

X波段的实测方向图示于图6,同样出于简洁,文中仅给出垂直极化激励的方向图.实测方向图与阵列理论吻合良好,主瓣内交叉极化电平低于-30dB.受限于可用电缆数量(测试过程中部分电缆损坏),标定增益时只测试了 $8 \times 3$ 元的阵面口径.通过比较法,测得垂直极化与水平极化增益分别为20.9dB和20.6dB,折合

效率91.9%和85.2%.图7是X波段实测扫描方向图,垂直极化与水平极化分别实现了 $28^\circ$ 和 $30^\circ$ 的扫描能力.这里仅测试了子阵水平极化E面和垂直极化H面的扫描方向图.另两个主面的扫描方向图由于单元数过少,没有进行测试.同理,由于单元数过少,S波段方向图及扫描特性也不作测试.

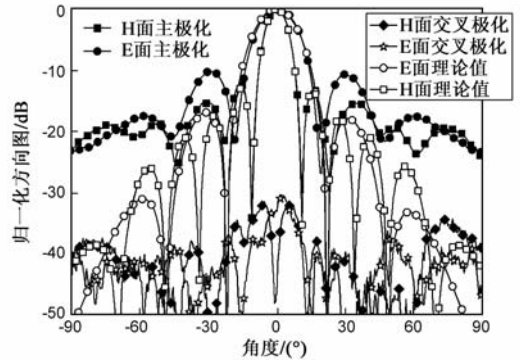


图6 X波段垂直极化实测与仿真方向图

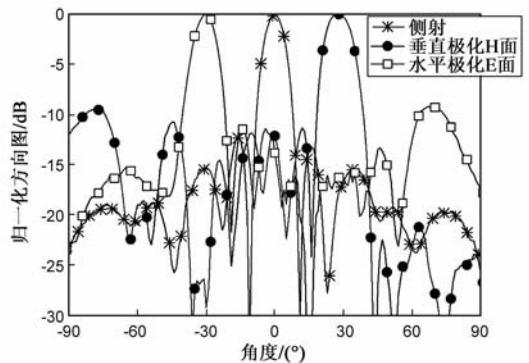


图7 X波段实测扫描方向图

## 6 结论

本文介绍了一种采用交织结构实现非整数频率比的S/X DBDP共口径天线阵.设计着重点有四:(1)实现了非整数频率比的DBDP天线阵;(2)采用三谐振法展宽了低频波段带宽,改善以往同类天线低频百分比带宽较窄的弱点;(3)在整个阵面上以每个辐射单元为单位,大规模的应用口径耦合及探针馈电的混合激励方式,较好地解决了口径耦合倒置的垂直过渡连接工艺.(4)采用多种方法提高了两个波段的极化隔离度.

加工了4副子阵以验证该设计.经实测,样阵在X和S波段的VSWR $\leq 2$ 带宽分别达13.1%和11%;带内阵列隔离度优于-37dB,单元隔离度优于-28dB;阵列方向图与理论吻合良好,主瓣内交叉极化优于-27dB;X波段扫描能力达 $\pm 27^\circ$ .此天线对于合成孔径雷达的应用是很有吸引力的,并可应用于其他要求宽带和高极化隔离的双波段双极化微波系统中.

致谢 感谢中国电子科技集团公司第三十八研究所的项目经理魏骧、工艺师吴文煜和结构师王志刚等在天线加工中给予很多建议和帮

助;感谢上海大学通信与信息工程学院杨雪霞教授的支持与指导。

## 参考文献

- [1] JORDAN R L, et al. The SIR-C/X-SAR synthetic aperture radar system[J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(4): 829 – 839.
- [2] SHAFAI L L, et al. Dual-band dual-polarized perforated microstrip antennas for SAR applications[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2000, 48(1): 58 – 66.
- [3] POZAR D M, et al. A shared-aperture dual-band dual-polarized microstrip array[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2001, 49(2): 150 – 157.
- [4] VETHARATNAM G, et al. Combined feed network for a shared-aperture dual-band dual-polarized array[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagat Lett, 2005, (4): 297 – 299.
- [5] MANGENOT C, et al. Dual band dual polarized radiating subarray for synthetic aperture radar[A]. IEEE Antennas and Propagat Society Int Symp: 1999 Digest[C]. Orlando: IEEE, 1999. (3): 1640 – 1643.
- [6] HSU S H, et al. A dual-polarized planar-array antenna for S-band and X-band airborne applications[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2009, 51(4): 70 – 78.
- [7] SOODMAND S. A novel circular shaped dual-band dual-polarized patch antenna and introducing a new approach for designing combined feed networks[A]. 2009 Loughborough Antennas & Propagat. Conf. [C]. Loughborough: IET, 2009. 401 – 404.
- [8] SALVADOR C, et al. Dual frequency planar antenna at S and X bands[J]. Electron Lett, 1995, 31(20): 1706 – 1707.
- [9] VALLECCHI A, et al. Dual-band dual polarization microstrip antenna[A]. IEEE Antennas and Propagat Society Int Symp [C]. USA: IEEE, 2003. (4): 134 – 137.
- [10] POZAR D M, et al. A dual-band dual-polarized array for spaceborne SAR[A]. IEEE Antennas and Propagat Society Int Symp[C]. Atlanta: IEEE, 1998. (4): 2112 – 2115.
- [11] QU X, ZHONG S S, ZHANG Y M, WANG W. Design of an S/X dual-band dual-polarised microstrip antenna array for SAR applications[J]. IET Microw Antennas Propagat, 2007, 1(2): 513517.
- [12] GAO G M, et al. Shared-aperture Ku/Ka bands microstrip array feeds for parabolic cylindrical reflector[A]. 2010 Int Conf Microw and Millimeter Wave Tech (ICMMT)[C]. Chengdu: IEEE, 2010. 1028 – 1030.
- [13] POKULS R, et al. Dual-frequency and dual-polarization microstrip antennas for SAR applications[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1998, 46(9): 1289 – 1296.
- [14] HE S H, et al. Analysis and design of a novel dual-band array antenna with a low profile for 2400/5800-MHz WLAN systems[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2010, 58(2): 391 – 396.
- [15] ZHONG S S, SUN Z, TANG X R. Progress in dual-band dual-polarization shared-aperture SAR antennas[J]. Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 2009, 4(3): 323 – 329.
- [16] SCHIPPERS H, et al. Development of dual-frequency airborne satcom antenna with optical beamforming[A]. 2009 IEEE Aerospace conf. [C]. Big Sky, MT: IEEE, 2009. 1 – 16.
- [17] WINCZA K, et al. Integrated dual-band dual-polarized antenna element for SAR applications[A]. 2009 IEEE Wireless and Microw Tech Conf (WAMICON '09)[C]. Clearwater, FL: IEEE, 2009. 1 – 4.
- [18] JAWORSKI G, et al. Dual-polarized stacked C-band antenna element with novel hairpin-type contactless stripline to stripline transition in multilayer integrated structure for SAR applications[A]. 2009 Loughborough Antennas & Propagat Conf[C]. Loughborough: IET, 2009. 337 – 340.
- [19] JAWORSKI G, et al. Dual frequency & dual-linear polarization integrated antenna array for application in synthetic aperture radar[A]. 7th European Radar Conference[C]. Paris: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. 523 – 526.
- [20] PARKER G S, et al. Dual polarised microstrip ring antenna with good isolation[J]. Electron Lett, 1998, 34(11): 1043 – 1044.
- [21] GAO S C, et al. Dual-polarized slot-coupled planar antenna with wide bandwidth[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2003, 51(3): 441 – 448.
- [22] PADHI S K, et al. A dual polarized aperture coupled circular patch antenna using a C-shaped coupling slot[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2003, 51(12): 3295 – 3298.
- [23] WATERHOUSE R B. Design of probe-fed stacked patches[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1999, 47(12): 1780 – 1784.
- [24] GAO S C, SAMBELL A. Dual-polarized broad-band microstrip antennas fed by proximity coupling[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2005, 53(1): 526 – 530.
- [25] WONG H, et al. Design of dual-polarized L-probe patch antenna arrays with high isolation[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2004, 52(1): 45 – 52.
- [26] BRACHAT P, BARACCO J M. Printed radiating element with two highly decoupled input ports[J]. Electron Lett, 1995, 31(4): 245 – 246.
- [27] WONG K L, et al. Broadband dual-polarized aperture-coupled patch antennas with modified H-shaped coupling slots[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2002, 50(2): 188 – 191.
- [28] YAMAZAKI M, et al. Construction of a slot-coupled planar antenna for dual polarisation[J]. Electron Lett, 1994, 30(22): 1814 – 1815.
- [29] GUO Y X, LUK K M, LEE K F. Broadband dual polarization patch element for cellular-phone base stations[J]. IEEE Trans

Antennas Propagat, 2002, 50(2): 251 – 253.

- [30] CHIOU T W, WONG K L. Broad-band dual-polarized single microstrip patch antenna with high isolation and low cross polarization[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2002, 50(3): 399 – 401.
- [31] SUN Z, ZHONG S S, TANG X R. C-band dual-polarized stacked patch antenna with low cross-polarization and high isolation[A]. EuCAP 2009[C]. Berlin: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009. 2994 – 2997.
- [32] WOELDERS K, GRANHOLM J. Cross-polarization and side-lobe suppression in dual linear polarization antenna arrays[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1997, 45(12): 1727 – 1740.
- [33] 梁仙灵, 钟顺时, 汪伟. 高隔离度双极化微带天线直线阵的设计[J]. 电子学报, 2005, 33(3): 553 – 555.  
LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei. Design of a dual-polarized linear microstrip antenna array with high isolation[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(3): 553 – 555. (in Chinese)
- [34] 陈旷达. 共用口径 S/X 双波段双极化微带阵列的研究[D]. 上海: 上海大学通信与信息工程学院, 2008.  
CHEN Kuang-da. Study on Shared-Aperture S/X Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Array [D]. Shanghai: School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, 2008. (in Chinese)
- [35] TARGONSKI S D, WATERHOUSE R B, POZAR D M. Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1998, 46(9): 1245 – 1251.
- [36] 杨雪霞, 钟顺时. 双极化微带天线单元及二元阵的 FDTD 法分析[J]. 电子学报, 2002, 30(9): 1333 – 1335.  
YANG Xue-xia, ZHONG Shun-shi. Analysis of the dual-polarized patch antenna and two-element array by FDTD[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(9): 1333 – 1335. (in Chinese)

## 作者简介



孙 竹 男, 1982 年生于上海, 博士生, 主要从事天线阵、微带天线方面的研究工作。

E-mail: kiddodo@163.com



钟顺时 男, 1939 年生于浙江, 上海大学教授, 博士生导师, 长期从事电磁场与微波技术专业教学与科研. 在国内外发表论文 200 余篇, 著译 4 部, 获全国电子类和上海市优秀教材奖 2 项, 国家和省部级科技进步奖 7 项, 主要研究方向为现代天线理论与技术等。

E-mail: shshzhong@163.com



孔令兵 男, 1976 年生于安徽, 博士生, 主要研究方向为现代天线理论与技术, 微波电路等。

E-mail: tanran2006@163.com



高 初 男, 1978 年生于安徽合肥, 2007 年毕业于东南大学电磁场与微波技术专业, 博士. 现为中国电子科技集团公司第 38 研究所高级工程师, 主要从事稀布阵和反射面天线的设计。

E-mail: simag@126.com