



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119651200 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 18

(21) 申请号 202411849924.9

H01Q 1/50 (2006.01)

(22) 申请日 2024.12.16

H01Q 1/42 (2006.01)

(71) 申请人 合肥应为电子科技有限公司

地址 230000 安徽省合肥市高新区创新大道106号明珠产业园5号楼3层D区

申请人 广州程星通信科技有限公司

(72) 发明人 刘贵亚 戴燕 王涛 贾鹏程
孔翔鸣

(74) 专利代理机构 广州润禾知识产权代理事务
所(普通合伙) 44446

专利代理师 林伟斌

(51) Int. Cl.

H01Q 21/00 (2006.01)

H01Q 5/25 (2015.01)

H01Q 1/52 (2006.01)

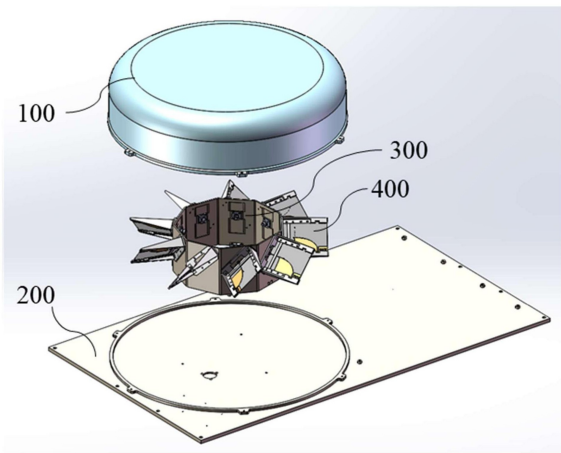
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化
多功能九元天线阵列及其系统

(57) 摘要

本发明涉及信息侦查与电子对抗领域,更具体地,涉及一种多元天线阵列及相关系统,所述天线阵列包括若干个天线阵元、多边形柱体基座、天线罩、固定底板,所述天线阵元的输入端连接射频连接器;所述相关系统包括天线阵列、电源与通信控制模块和射频模块;用于解决现有天线阵列频域覆盖窄、空域覆盖不够宽、重量与尺寸大,不具备超宽带方位测向与电子干扰功能于一体的技术问题;实现频率覆盖2~18GHz、空域覆盖360°、轻量化设计同时具备全方位测向与电子干扰功能于一体的天线阵列;接收空间多路侦查信号来进行组合比幅测向,通过算法计算确认侦查信号的特性与威胁等级,再根据威胁目标方位,对指定的方向威胁目标实施侦查跟踪与电子干扰任务。



1. 一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列,其特征在于,包括若干个天线阵元、多边形柱体基座、天线罩、固定底板,所述天线阵元的输入端连接射频连接器,用于对输入射频信号进行电磁变换转换为空间辐射能量,对空间目标进行干扰;所述固定底板垂直安装于多边形柱体基座的侧面板,若干个天线阵元绕所述多边形柱体基座的中心排布于其每个侧面板上,所述天线阵元所在的平面与所述固定底板所在的平面呈一倾斜角,所述天线罩由所述多边形柱体基座的顶面覆盖至底面,并将所述天线阵元罩于其中。

2. 根据权利要求1所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列,其特征在于,所述天线阵元包括九个,每个天线阵元在极坐标中的方位面波宽 $\geq 40^\circ$,每个天线阵元在极坐标中的俯仰面波宽 $\geq 10^\circ$,极坐标的极限值为 $\pm 90^\circ$,每个天线阵元包括天线PCB和支撑架,所述天线PCB固定于所述支撑架中,所述支撑架呈镂空状。

3. 根据权利要求2所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列,其特征在于,所述天线阵元还包括固定于支撑架上的反射板和波束约束金属板,用于减少天线阵元的背向辐射。

4. 一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,包括权利要求1-3任一项所述的多元天线阵列,还包括电源与通信控制模块和射频模块,所述多元天线阵列根据系统控制指令通过天线辐射到空间干扰目标;所述电源与通信控制模块为所述射频模块供电,实现所述射频模块中的开关、数控衰减器控制与状态监测功能;所述射频模块与多元天线阵列连接,实现指定方向天线的信号的接收与发射、信号的调制、以及输出信号的放大。

5. 根据权利要求4所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,所述射频模块包括开关矩阵与微波通道模块、下变频模块、上变频模块、功放模块,所述开关矩阵与微波通道模块用于接收多元天线阵列的九路射频信号,并输出三路射频信号至下变频模块;所述下变频模块将三路射频信号变频到相应中频信号,并发送数字域信号;所述上变频模块对干扰信号进行选通输入,并将相应中频信号进行变频处理及幅度控制后发送至功放模块;所述功放模块将所述上变频模块输出的中频信号进行合路处理,并放大干扰信号,同时接收电源与通信控制模块的供电控制信号以实现关电静默状态的切换。

6. 根据权利要求5所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,还包括频综模块、链路模块、数字模块,所述频综模块用于产生可变本振信号发送至下变频模块或上变频模块,同时发送校准信号至所述开关矩阵与微波通道模块;所述链路模块用于接收所述频综模块提供的ADC时钟频率,并提供干扰信号至上变频模块;所述数字模块用于接收处理所述下变频模块发送的数字域信号,发送干扰信号至上变频模块,并发送工作状态指令至电源与通信控制模块。

7. 根据权利要求4所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,所述系统包括侦察工作模式:通过DRFM与数据融合模块提供高速LVTTTL差分控制信号至所述电源与通信控制模块,使其输出控制信号控制所述开关矩阵与微波通道模块中的天线端开关切换至接收状态,九元天线阵列的九路射频信号任选相邻三路接收通道,并接收射频信号;所述电源与通信控制模块输出控制信号至频综模块,所述频综模块进行可变频率本振信号切换;所述下变频模块对三路射频接收信号进行变频处理,并输出至

数字模块;所述数字模块对中频信号进行特定频段范围内接收信号频率测量,以及全频段范围内接收信号算法处理。

8.根据权利要求7所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,所述系统还包括干扰工作模式:通过DRFM与数据融合模块生成三路全频段范围内射频干扰信号,以及通过通信干扰模块生成一路通信干扰信号,并同时输出至上变频模块。

9.根据权利要求8所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,所述干扰工作模式包括通信干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至关断状态,对输入射频干扰信号进行抑制,第三路单刀双掷开关切换至通信干扰信号输入端;通信干扰信号经过上变频模块变频处理后输出至功放模块。

10.根据权利要求8所述的超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其特征在于,所述干扰工作模式还包括射频干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至开放状态,对输入射频干扰信号进行选通,第三路单刀双掷开关切换至射频干扰信号输入端;三路独立干扰信号经过上变频模块独立变频后输出至功放模块。

一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列及其系统

技术领域

[0001] 本发明涉及信息侦查与电子对抗领域,更具体地,涉及一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列及其系统。

背景技术

[0002] 随着电子信息对抗领域的不断发展,工程上对超宽频域覆盖与超宽空域覆盖的天线需求日益提高,进一步为了满足目前无人机平台的工程应用要求,天线必须采用轻量化设计。同时现有的无人机对抗领域都需具备查打一体等多功能要求,因此天线设计需要具有多功能要求。目前宽带天线已经被大量的研究并取得广泛的运用,可随着对宽频域、宽空域、轻量化、多功能等高性能天线需求的不断提高,宽带阵列天线技术研究与应用得到越来越多的重视,然而在进行宽带阵列设计过程中面临着诸多困难:宽频域与宽空域覆盖之间技术矛盾难以实现;天线阵列规模增多情况下,保证超宽的工作带宽难以实现;随着天线阵列规模增加,天线阵列的小型化设计问题难以解决;同时兼顾轻量化设计,保证在无人机等应用平台抗冲击与抗震动可靠性方面问题难以解决等。

[0003] 针对上述阵列天线的实现所面临的技术瓶颈,需要一种频率覆盖2~18GHz、空域覆盖360°、轻量化设计同时具备方位测向与电子干扰功能于一体的天线阵列。

发明内容

[0004] 本发明旨在克服上述现有技术的至少一种缺陷(不足),提供一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列及其系统,用于解决现有天线阵列频域覆盖窄、空域覆盖不够宽、重量大,不具备方位测向与电子干扰功能于一体的技术问题。

[0005] 本发明采取的技术方案是,提供一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列,其中,包括若干个天线阵元、多边形柱体基座、天线罩、固定底板,所述天线阵元的输入端连接射频连接器,用于对输入射频信号进行电磁变换转换为空间辐射能量,对空间目标进行干扰;所述固定底板垂直安装于多边形柱体基座的侧面板,若干个天线阵元绕所述多边形柱体基座的中心排布于其每个侧面板上,所述天线阵元所在的平面与所述固定底板所在的平面呈一倾斜角,所述天线罩由所述多边形柱体基座的顶面覆盖至底面,并将所述天线阵元罩于其中。

[0006] 有利于通过若干个独立的天线阵元形成360°超宽空域的覆盖以及2-18GHz超宽频域的覆盖;通过多边形柱体基座作为天线阵元的空间支架,以实现方位测向的效果;通过固定底板将多边形柱体基座固定锁紧,以实现天线阵元的多组合安装;通过天线罩将天线阵元进行包裹,起到防水防风防腐蚀的作用。

[0007] 进一步的,所述天线阵元包括九个,每个天线阵元在极坐标中的方位面波宽 $\geq 40^\circ$,每个天线阵元在极坐标中的俯仰面波宽 $\geq 10^\circ$,极坐标的极限值为 $\pm 90^\circ$,每个天线阵元包括天线PCB和支撑架,所述天线PCB固定于所述支撑架中,所述支撑架呈镂空状。

[0008] 有利于通过任一天线阵元的方位面角度至少大于等于 40° ,俯仰面角度至少大于等于 10° ,实现天线阵列的斜 45° 线极化效果,具备方位面满足 0° - 360° ,俯仰面满足 -10° - 0° 超宽空域的覆盖效果;通过天线阵元中的天线PCB和支撑架实现天线PCB的固定以及调整支撑架角度即可调整天线PCB角度的效果;通过镂空的支撑架以实现轻量化设计效果。

[0009] 进一步的,所述天线阵元还包括固定于支撑架上的反射板和波束约束金属板,用于减少天线阵元的背向辐射。

[0010] 有利于通过反射板和波束约束金属板加强天线阵元的定向效果,减少背向辐射,减少外部干扰,提高信号发射功率及接收距离从而提高信号质量。

[0011] 还提供一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统,其中,包括所述的多元天线阵列,还包括电源与通信控制模块和射频模块,所述多元天线阵列根据系统控制指令通过天线辐射到空间干扰目标;所述电源与通信控制模块为所述射频模块供电,实现所述射频模块中的开关、数控衰减器控制与状态监测功能;所述射频模块与多元天线阵列连接,实现指定方向天线的信号的接收与发射、信号的调制、以及输出信号的放大。

[0012] 有利于通过多元天线阵列系统接收空间同一信号进行比幅来完成测向,完成测向后再根据威胁目标方位,对指定的方向实施侦查与干扰任务;通过多元天线阵列接收与辐射射频信号;通过射频模块对多元天线阵列接收的信号进行处理,同时根据指令选择相应发射通道;通过电源与通信控制模块对输入电源进行滤波,变换至适当的电平后为射频模块和多元天线阵列供电。

[0013] 进一步的,所述射频模块包括开关矩阵与微波通道模块、下变频模块、上变频模块、功放模块,所述开关矩阵与微波通道模块用于接收多元天线阵列的九路射频信号,并输出三路射频信号至下变频模块;所述下变频模块将三路射频信号变频到相应中频信号,并发送数字域信号;所述上变频模块对干扰信号进行选通输入,并将相应中频信号进行变频处理及幅度控制后发送至功放模块;所述功放模块将所述上变频模块输出的中频信号进行合路处理,并放大干扰信号,同时接收电源与通信控制模块的供电控制信号以实现关电静默状态的切换。

[0014] 有利于通过开关矩阵与微波通道模块实现多元天线阵列中指定方向天线的信号的接收与发射;通过功放模块对上变频模块输出的信号进行功率放大;通过上变频模块对数字分机产生的中频信号,调制至指定的发射频段;通过下变频模块对开关矩阵与微波通道模块输出的射频信号调制至设定的中频。

[0015] 进一步的,还包括频综模块、链路模块、数字模块,所述频综模块用于产生可变本振信号发送至下变频模块或上变频模块,同时发送校准信号至所述开关矩阵与微波通道模块;所述链路模块用于接收所述频综模块提供的ADC时钟频率,并提供干扰信号至上变频模块;所述数字模块用于接收处理所述下变频模块发送的数字域信号,发送干扰信号至上变频模块,并发送工作状态指令至电源与通信控制模块。

[0016] 有利于通过频综模块切换可变频信号发送至上变频模块或下变频模块,通过链路模块将频综模块的频率信号传递至上变频模块,通过数字模块发送三路干扰信号至上变频模块。

[0017] 进一步的,所述系统包括侦察工作模式:通过DRFM与数据融合模块提供高速LVTTL

差分控制信号至所述电源与通信控制模块,使其输出控制信号控制所述开关矩阵与微波通道模块中的天线端开关切换至接收状态,九元天线阵列的九路射频信号任选相邻三路接收通道,并接收射频信号;所述电源与通信控制模块输出控制信号至频综模块,所述频综模块进行可变频率本振信号切换;所述下变频模块对三路射频接收信号进行变频处理,并输出至数字模块;所述数字模块对中频信号进行特定频段范围内接收信号频率测量,以及全频段范围内接收信号算法处理。

[0018] 有利于通过侦察工作模式实现多元天线阵列对空间信号的侦收,提升多元天线阵列相关系统的场景灵活性。

[0019] 进一步的,所述系统还包括干扰工作模式:通过DRFM与数据融合模块生成三路全频段范围内射频干扰信号,以及通过通信干扰模块生成一路通信干扰信号,并同时输出至上变频模块。

[0020] 有利于通过干扰工作模式实现多元天线阵列对特定空间方向辐射干扰信号,提升多元天线阵列相关系统的功能性。

[0021] 进一步的,所述干扰工作模式包括通信干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至关断状态,对输入射频干扰信号进行抑制,第三路单刀双掷开关切换至通信干扰信号输入端;通信干扰信号经过上变频模块变频处理后输出至功放模块。

[0022] 有利于通过通信干扰工作模式实现对输入射频干扰信号的抑制,经过上变频模块频率变换处理后的通信干扰信号输出至功放模块,加强干扰效果的灵活性。

[0023] 进一步的,所述干扰工作模式还包括射频干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至开放状态,对输入射频干扰信号进行选通,第三路单刀双掷开关切换至射频干扰信号输入端;三路独立干扰信号经过上变频模块独立变频后输出至功放模块。

[0024] 有利于通过射频干扰工作模式实现对输入射频干扰信号的选通,经过上变频模块频率变换处理后的三路独立干扰信号输出至功放模块,加强干扰效果的灵活性。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:实现频率覆盖2~18GHz、空域覆盖360°、轻量化设计同时具备方位测向与电子干扰功能于一体的天线阵列;接收空间同一信号进行比幅来完成测向,完成测向后,再根据威胁目标方位,对指定的方向实施侦查与干扰任务。

附图说明

[0026] 图1为本发明的多元天线阵列整体结构爆炸示意图。

[0027] 图2为本发明的天线阵元与多边形柱体基座连接示意图。

[0028] 图3为本发明的天线阵元示意图。

[0029] 图4为本发明的天线结构模态分析图。

[0030] 图5为本发明的天线结构对应加速度PSD下等效应力 3σ 值云图。

[0031] 图6为本发明的天线结构半正弦冲击下等效应力云图。

[0032] 图7为本发明的天线罩模态分析图。

- [0033] 图8为本发明的天线罩振动环境加速度PSD图。
- [0034] 图9为本发明的天线罩对应加速度PSD下等效应力 3σ 值云图。
- [0035] 图10为本发明的天线罩半正弦冲击下等效应力云图。
- [0036] 图11为本发明的380mm圆板罩单元划分示意图。
- [0037] 图12为本发明的380mm圆板罩风载示意图。
- [0038] 图13为本发明的风载作用下380mm圆板罩应力响应示意图。
- [0039] 图14为本发明的风载作用下380mm圆板罩位移响应示意图。
- [0040] 图15为本发明的天线阵元模型图。
- [0041] 图16为本发明的2GHz相邻3天线及幅度差曲线图。
- [0042] 图17为本发明的18GHz相邻3天线及幅度差曲线图。
- [0043] 图18为本发明的全频段范围内天线阵元俯仰方向图。
- [0044] 图19为本发明的三天线位于机腹三位置仿真模型图。
- [0045] 图20为本发明的天线受机腹影响下2.1GHz方向图($\text{Theta}=90\text{deg}$)。
- [0046] 图21为本发明的天线受机腹影响下18GHz方向图($\text{Theta}=90\text{deg}$)。
- [0047] 图22为本发明的天线受机腹影响下2.1GHz幅度差曲线图。
- [0048] 图23为本发明的天线受机腹影响下18GHz幅度差曲线图。
- [0049] 图24为本发明的天线受机腹影响下全频段范围内天线阵元俯仰方向图。
- [0050] 附图标识说明:天线罩100,固定底板200,多边形柱体基座300,天线阵元400,支架410,天线PCB 420。

具体实施方式

[0051] 本发明附图仅用于示例性说明,不能理解为对本发明的限制。为了更好说明以下实施例,附图某些部件会有省略、放大或缩小,并不代表实际产品的尺寸;对于本领域技术人员来说,附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

实施例1

[0052] 如图1-14所示,本实施例提供一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列,其中,包括若干个天线阵元400、多边形柱体基座300、天线罩100、固定底板200,所述天线阵元400的输入端连接射频连接器,用于对输入射频信号进行电磁变换转换为空间辐射能量,对空间目标进行干扰;所述固定底板200垂直安装于多边形柱体基座300的侧面板,若干个天线阵元400绕所述多边形柱体基座300的中心排布于其每个侧面板上,所述天线阵元400所在的平面与所述固定底板200所在的平面呈一倾斜角,所述天线罩100由所述多边形柱体基座300的顶面覆盖至底面,并将所述天线阵元400罩于其中。

[0053] 本实施例中,所述天线阵元400采用印刷PCB集成小型化vivaldi天线单元类型,通过在槽线的前端进行加载设计,使得vivaldi天线单元的尺寸变小,为80(宽) $\times$ 60(高) $\times$ 0.3(厚度)mm;所述天线阵元400的射频板材型号为ROGERS 6002;所述多边形柱体基座300为正九边形柱体合金环框;所述天线罩100为厚度为1mm的玻璃钢材质,通过防水圈设计实现防水处理,其外形尺寸 $\phi 380 \times 90\text{mm}$,满足所述天线阵元400整体尺寸小型化的技术效果;所述天线阵元400的阻抗带宽在2-18GHz,设计满足驻波比 ≤ 2 的技术指标。

[0054] 所述天线阵元400包括九个,每个天线阵元400在极坐标中的方位面波宽 $\geq 40^\circ$,每

个天线阵元400在极坐标中的俯仰面波宽 $\geq 10^\circ$,极坐标的极限值为 $\pm 90^\circ$,每个天线阵元400包括天线PCB 420和支撑架410,所述天线PCB 420固定于所述支撑架410中,所述支撑架410呈镂空状。

[0055] 本实施例中,装配固定天线PCB 420的支撑架410的结构采用镁铝合金,使其强度及耐蚀性保持良好,同时镂空状的结构可以进一步减重,使得所述天线阵元400的重量满足 $\leq 700\text{g}$ 的技术效果。所述天线阵元400采用的vivaldi天线为线极化天线,并将天线阵元400旋转至与方位面成 45° 角,满足天线极化方式设计要求。所述天线阵元400采用9单元沿正九边柱排列,每个单元方位面波宽 $\geq 40^\circ$,俯仰面波宽 $\geq 10^\circ$,满足技术指标空域覆盖方位面 $0^\circ \sim 360^\circ$,俯仰面 $-10^\circ \sim 0^\circ$ 技术效果。

[0056] 所述天线阵元400还包括固定于支撑架410上的反射板和波束约束金属板,用于减少天线阵元400的背向辐射。

[0057] 本实施例中,所述天线阵元400是定向天线,且给天线单元添加反射板和波束约束金属板,减小背向辐射。天线仿真增益 $\geq 0\text{dBc}$,满足天线增益设计指标要求。

[0058] 本实施例中,对多元天线阵列的结构进行振动冲击仿真分析,为了防止模态丢失以及提高后续振动冲击分析的准确性,这里取完整结构进行分析,多元天线阵列的外形呈周期对称结构。仿真分析中的参数设置:支撑架410的铝质结构材料密度为 2770kg/m^3 ,杨氏模量为 71GPa ,泊松比为 0.33 ,对应抗拉强度 $[\sigma_p] = 310\text{MPa}$,屈服强度 $[\sigma_{0.2}] = 276\text{MPa}$,抗剪强度 $[\sigma_\tau] = 207\text{MPa}$ 。PCB结构板材材料密度为 2200kg/m^3 ,各方向杨氏模量分别为 $156/125/136\text{MPa}$,相应泊松比为 $0.11/0.09/0.14$,对应弯曲强度为 $400\sim 500\text{MPa}$,压缩强度为 $500\sim 550\text{MPa}$,屈服强度为 $350\sim 400\text{MPa}$,冲击强度 $500\sim 600\text{MPa}$ 。对于计算模型,假定各连接处为刚性连接。仿真计算得到前6阶模态结果如图4所示。计算得到各工况下各方向 3σ 值最大应力为 0.447MPa ,最大等效应力为 0.801MPa ,均小于对应材料强度参数,满足使用要求。对应加速度PSD下等效应力 3σ 值云图如图5所示。当采用的标准为 $50\text{g}/11\text{ms}$ 的半正弦冲击,在Ansys Workbench中将其以加速度载荷的形式施加。计算得到等效应力云图如图6所示。计算得到各工况下各方向最大等效应力为 77.13MPa ,同样远小于材料强度参数。综上,经过相应振动冲击试验计算分析,该天线结构安全,满足使用要求。

[0059] 本实施例中,对天线罩100的结构进行振动冲击仿真分析,天线罩100的罩体为玻璃钢材质,底部通过圆周均布的6个螺栓与底板结构相连。仿真分析的参数设置:玻璃钢材料密度为 1750kg/m^3 ,弹性模量为 10.7GPa ,泊松比为 0.15 ,对应抗拉强度 $[\sigma_p] = 400\text{MPa}$,抗压强度 $[\sigma_c] = 450\text{MPa}$,抗剪强度 $[\sigma_\tau] = 100\text{MPa}$ 。对于计算模型,设定螺栓连接处为固定支撑。仿真计算得到前6阶模态结果如图7所示。根据相关工作环境,取随机振动功率谱密度函数如图8所示。计算得到各工况下各方向 3σ 值最大剪应力为 6.6236MPa ,最大等效应力为 19.39MPa ,均远小于对应材料强度参数,满足使用要求。这里采用的规范为 $50\text{g}/11\text{ms}$ 的半正弦冲击,在Ansys中将其转换为位移载荷的形式施加激励。计算得到等效应力云图如图9所示。计算得到各工况下各方向最大等效应力为 0.022054Mpa ,同样远小于材料强度参数。综上,经过相应振动冲击试验计算分析,该天线罩100结构安全,满足使用要求。

[0060] 本实施例中,对天线罩100的风速影响情况下进行有限元仿真分析,所述天线罩100的直径为 380mm ,高度为 90mm ,倒角半径为 43.5mm 。罩体为玻璃布内外蒙皮夹蜂窝夹芯的蜂窝夹层结构;罩体底部与机体结构采用螺栓连接,边界条件取为固支。采用广泛应用的结

构计算软件进行有限元 (FEM) 建模并计算, 计算结果表明, 该天线罩100能够达到抗风力指标。380mm圆板罩单元划分如图11所示。仿真分析的参数设置: 夹层厚度为2.6mm。风速 $v=55.5\text{m/s}$, 安全系数 $k=1.3$, $P=k*V^2/1.6=2502.7\text{Pa}$ 。计算风载结果: P-B天线罩100的应力应变等指标的响应如表1所示, 表1中 $\tau_{\max}$ 为罩体上 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} 中的最大值。如图12所示风载示意图。

工况	强度				刚度	稳定
	$\sigma +$ max MPa	$\sigma -$ max MPa	$\tau_{\max}$ MPa	等效应力 MPa	总变形 mm	特征值
1	8.8	-7.0	4.4	9.3	2.0	33.4

表1自重、风载作用下整罩响应

[0061] 根据对380mm圆板罩结构的内力计算, 从各工况中选择最大应力值, 如图13所示, 可以得出:

[0062] 最大剪应力 $\tau_{\max}=4.4\text{MPa}<[\sigma\tau]$

[0063] 最大等效应力 $\sigma_{\max}=9.3\text{MPa}<[\sigma_p]$ 、 $[\sigma_c]$ 、 $[\sigma\tau]$

[0064] 根据对380mm原版找结构的计算, 选出最大位移, 如图14所示:

[0065] 最大位移 $s_{\max}=2.0\text{mm}$; 位移限量 $1\%d=3.9\text{mm}$; $s_{\max}<1\%d$, 满足位移限量。

[0066] 高度相关已知条件: 高度 $h=90\text{mm}$, 壁厚 $d=0.3+2+0.3=2.6\text{mm}$, 天线罩100与天线间距: $\Delta h=h-d+s_{\max}=89.4>80\text{mm}$ 。可知满足腔内空间大于80mm的要求。

实施例2

[0067] 本实施例与实施例1不同的是, 本实施例中的支撑架410与多边形柱体基座300的连接装置为螺纹结构, 螺纹结构朝向多边形柱体基座300的中心处呈管状, 九个天线阵元400对应设有九个螺纹结构。在多边形柱体基座300的中心处设有转动组件, 用于控制九个螺纹结构的动态转动, 九个螺纹结构的转动角度各异, 以实现更为精确的定向天线信号的接收和发射, 提高多元天线阵列及相关系统的使用灵活性。

[0068] 九元天线阵列的九路射频信号任选相邻三路接收通道, 并接收射频信号。所述转动组件控制相邻三个天线阵元400根据频段需要转动不同角度, 以实现更宽范围、更灵活的频段调节。

实施例3

[0069] 本实施例中, 提供一种超宽频域覆盖、超宽空域覆盖、轻量化多功能九元天线阵列系统, 其中, 包括所述的多元天线阵列, 还包括电源与通信控制模块和射频模块, 所述多元天线阵列根据系统控制指令通过天线辐射到空间干扰目标; 所述电源与通信控制模块为所述射频模块供电, 实现所述射频模块中的开关、数控衰减器控制与状态监测功能; 所述射频模块与多元天线阵列连接, 实现指定方向天线的信号的接收与发射、信号的调制、以及输出信号的放大。

[0070] 本实施例中, 所述多元天线阵列主要作用为对空间信号侦收, 并对特定空间方向

辐射干扰信号。所述射频模块用于对所述多元天线阵列接收的射频信号限幅、滤波、放大、下变频到中频给接收机处理,同时对中频干扰信号进行上变频、滤波、功放放大,根据指令选择相应发射通道。所述电源与通信控制模块为接入无人机的输入电源提供滤波,电压转换,控制电平转换功能,从而为各射频模块提供工作电源;并通过接收数字模块的工作状态指令控制,实现开关矩阵及微波通道模块、功放模块、上下变频模块中涉及到的开关、数控衰减器控制与状态监测等功能。

[0071] 所述射频模块包括开关矩阵与微波通道模块、下变频模块、上变频模块、功放模块,所述开关矩阵与微波通道模块用于接收多元天线阵列的九路射频信号,并输出三路射频信号至下变频模块;所述下变频模块将三路射频信号变频到相应中频信号,并发送数字域信号;所述上变频模块对干扰信号进行选通输入,并将相应中频信号进行变频处理及幅度控制后发送至功放模块;所述功放模块将所述上变频模块输出的中频信号进行合路处理,并放大干扰信号,同时接收电源与通信控制模块的供电控制信号以实现关电静默状态的切换。

[0072] 还包括频综模块、链路模块、数字模块,所述频综模块用于产生可变本振信号发送至下变频模块或上变频模块,同时发送校准信号至所述开关矩阵与微波通道模块;所述链路模块用于接收所述频综模块提供的ADC时钟频率,并提供干扰信号至上变频模块;所述数字模块用于接收处理所述下变频模块发送的数字域信号,发送干扰信号至上变频模块,并发送工作状态指令至电源与通信控制模块。

[0073] 本实施例中,所述开关矩阵与微波通道模块实现9路宽带射频信号的选通、限幅、接收放大、接收增益控制、接收链路信号的校准工作,同时具有发射通道射频输出选通功能。下变频模块根据快速频综模块产生的可变本振信号,将左、中、右三路接收射频信号变频到相应中频,提供给数字模块进行测频、测向等数字域信号处理。所述上变频模块对通过所述电源与通信控制模块提供的开关控制信号,对所述数字模块以及通信干扰模块提供的干扰信号进行选通输入,并将相对应的中频信号进行变频处理以及幅度控制,最终提供给功放模块。所述功放模块对3路输入信号进行合路处理,并基于GaN高效率功率放大单片,采用合成技术,通过4片饱和输出功率可达到10W的GaN单片进行高效率功率合成,达成射频干扰信号、通信干扰信号的放大功能。同时可通过供电与通信控制模块提供的供电控制信号实现关电静默状态切换。

[0074] 所述系统包括侦察工作模式:通过DRFM与数据融合模块提供高速LVTTTL差分控制信号至所述电源与通信控制模块,使其输出控制信号控制所述开关矩阵与微波通道模块中的天线端开关切换至接收状态,九元天线阵列的九路射频信号任选相邻三路接收通道,并接收射频信号;所述电源与通信控制模块输出控制信号至频综模块,所述频综模块进行可变频率本振信号切换;所述下变频模块对三路射频接收信号进行变频处理,并输出至数字模块;所述数字模块对中频信号进行特定频段范围内接收信号频率测量,以及全频段范围内接收信号算法处理。

[0075] 本实施例中,系统首先处于侦察工作模式,DRFM与数据融合模块提供高速LVTTTL差分控制信号至供电及通信控制模块,通过控制信号控制开关矩阵与微波通道模块中天线端收发开关切换到接收状态;根据控制指令从9路射频接收信号中任意选择相邻3路接收通道接收射频信号;此时,电源及通信控制模块输出控制信号至频综模块,频综模块进行可变频

率本振信号切换;下变频模块对3路射频接收信号进行变频处理,分别变换至1.3-2.3GHz中频信号,标识为左波束、右波束、中波束中频信号,并输出至数字接收机;数字接收机处理三路中频信号,进行2-3GHz、6-8GHz频段范围内接收信号频率测量以及2-18GHz全频段范围内接收信号参数测量、测向、分选等算法处理。

[0076] 所述系统还包括干扰工作模式:通过DRFM与数据融合模块生成三路全频段范围内射频干扰信号,以及通过通信干扰模块生成一路通信干扰信号,并同时输出至上变频模块。

[0077] 本实施例中,系统处于干扰模式时,DRFM与数据融合模块生成三路2-18GHz频带范围内射频干扰信号,输出至上变频模块;通信干扰模块生成一路通信干扰信号,输出至上变频模块。

[0078] 所述干扰工作模式包括通信干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至关断状态,对输入射频干扰信号进行抑制,第三路单刀双掷开关切换至通信干扰信号输入端;通信干扰信号经过上变频模块变频处理后输出至功放模块。

[0079] 本实施例中,通信干扰工作模式下,DRFM与数据融合模块提供高速LVTTTL差分控制信号至供电及通信控制模块,电源及通信控制模块输出控制信号至上变频模块、频综模块以及开关矩阵与微波通道模块;其中开关矩阵与微波通道模块中9选1开关根据控制切换至指定天线波束;频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;上变频模块内部两路射频开关切换至关断状态,对输入射频干扰信号进行抑制,第三路单刀双掷开关切换至通信干扰信号输入端;通信干扰信号经过上变频模块频率变换处理后输出至功放模块;功放模块对输入射频信号进行合路、放大;9元天线对输入射频信号进行电磁变换转换为空间辐射能量,对空间目标进行干扰;根据系统控制指令收发开关切换到发射状态,选择9个波束中指定波束进行发射,通过天线辐射到空间干扰目标。

[0080] 所述干扰工作模式还包括射频干扰工作模式:所述开关矩阵与微波通道模块切换至指定天线波束;所述频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;所述上变频模块中的两路射频开关切换至开放状态,对输入射频干扰信号进行选通,第三路单刀双掷开关切换至射频干扰信号输入端;三路独立干扰信号经过上变频模块独立变频后输出至功放模块。

[0081] 本实施例中,射频干扰工作模式下,DRFM与数据融合模块提供高速LVTTTL差分控制信号至供电及通信控制模块,供电及通信控制模块输出控制信号至上变频模块、频综模块以及开关矩阵与微波通道模块;其中开关矩阵与微波通道模块中9选1开关根据控制切换至指定天线波束;频综模块切换可变本振信号频率至特定频率;上变频模块内部两路射频开关切换至开放状态,对输入射频干扰信号进行选通,第三路单刀双掷开关切换至射频干扰信号输入端;三路独立干扰信号经过上变频模块独立频率变换后输出至功放模块;功放模块对输入射频信号进行合路、放大;9元天线对输入射频信号进行电磁变换转换为空间辐射能量,对空间目标进行干扰;根据系统控制指令收发开关切换到发射状态,选择9个波束中指定波束进行发射,通过天线辐射到空间干扰目标。

[0082] 本实施例中,如图15-24所示,所述天线阵元400装机后,设辐射方向机头方向夹角为0度的天线为1号天线,从上往下俯视,从1号天线开始按顺时针方向依次设其余天线为2、3、4、5、6、7、8、9号天线。天线单元模型如图15所示。对相邻3天线进行比幅仿真,全频段范围内的2GHz、18GHz相邻3天线及幅度差曲线如图16、17所示。全频段范围内天线阵元400俯仰

面覆盖情况仿真结果如图18所示,满足俯仰 $-10^{\circ} \sim 0^{\circ}$ (水平为 0° ,向下为负,向上为正)覆盖范围。

[0083] 考虑飞机机腹影响,飞机机身作为碳纤维材质,对于2-18GHz频段射频信号反映为全反射电特性,仿真模型中机腹以 $0.45 \times 2.5\text{m}$ 金属反射板替代,天线位于机腹下方,考虑到3个天线单元不同位置受机腹影响不同,对1、2、3号位置天线分别建模进行仿真分析,仿真模型如图19所示。①号②号③号位置 $\text{Theta}=90\text{deg}$ 时方向图对比曲线,2.1GHz方向图如图20所示,18GHz方向图如图21所示。

[0084] 根据1、2、3号位天线单元方向图曲线进行幅度差处理,其中低频段2-8.5GHz采用相间隔单元幅度差,高频段9-18GHz采用相邻单元进行幅度差处理,2.1GHz幅度差曲线如图22所示,18GHz幅度差曲线如图23所示。由于受飞机机腹的影响较大,天线辐射方向图产生了畸变,主瓣有凹凸的形状。但通过对相邻或者相间隔方向图的差值计算,差曲线总体是单调的,可以通过差曲线判断出来波方向。

[0085] 全频段范围内天线单元俯仰面覆盖情况仿真结果如图24所示,满足俯仰 $-10^{\circ} \sim 0^{\circ}$ (水平为 0° ,向下为负,向上为正)覆盖范围。

[0086] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明技术方案所作的举例,而并非是对本发明的具体实施方式的限定。凡在本发明权利要求书的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求书的保护范围之内。

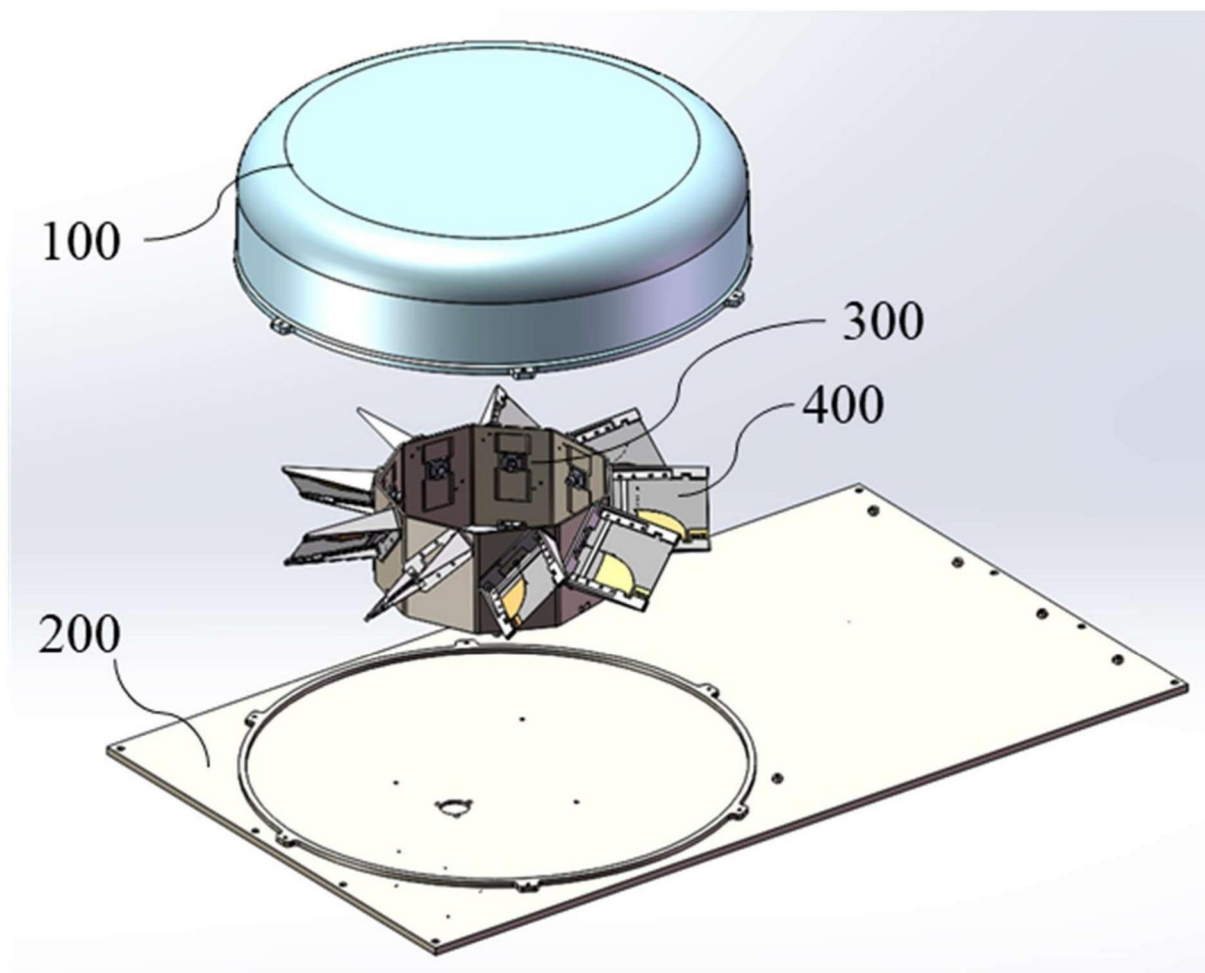


图1

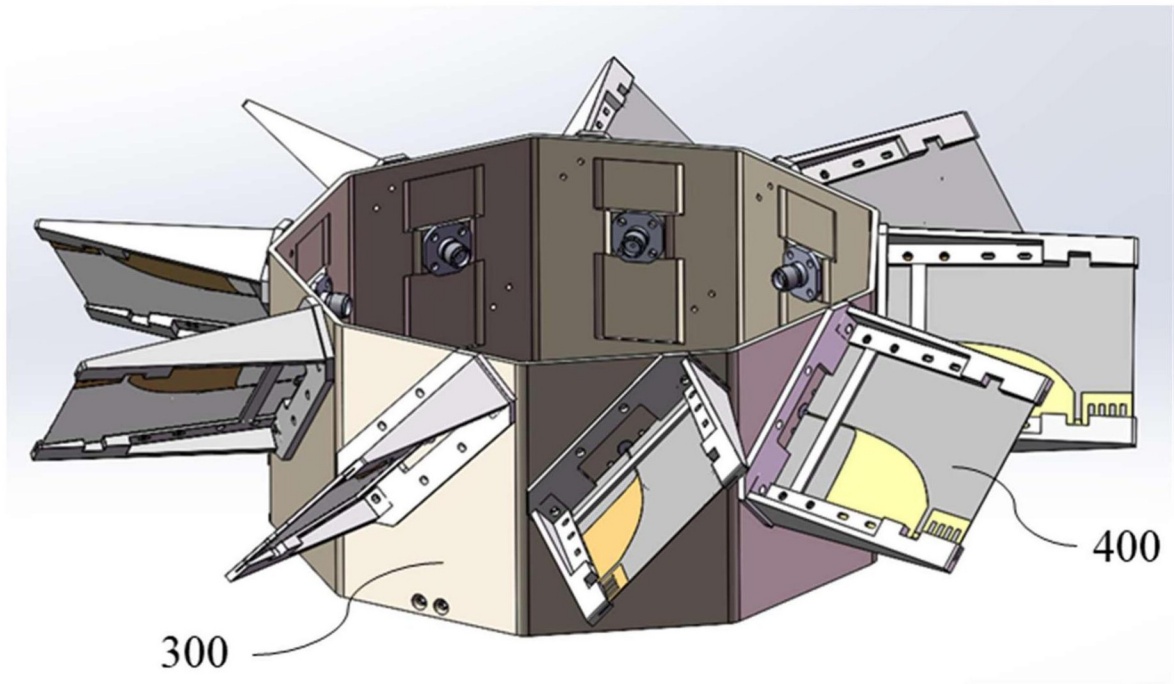


图2

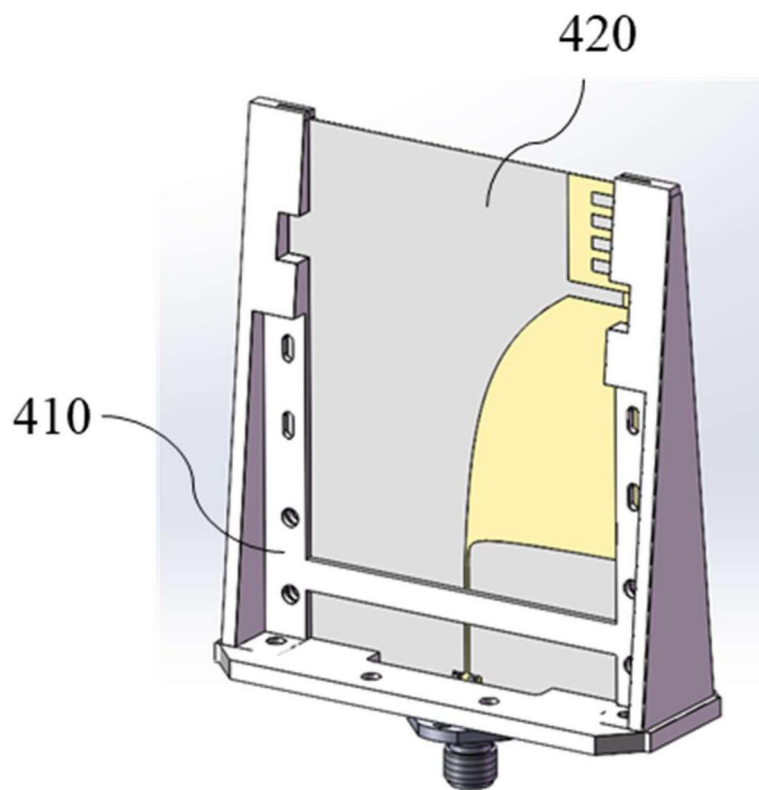


图3

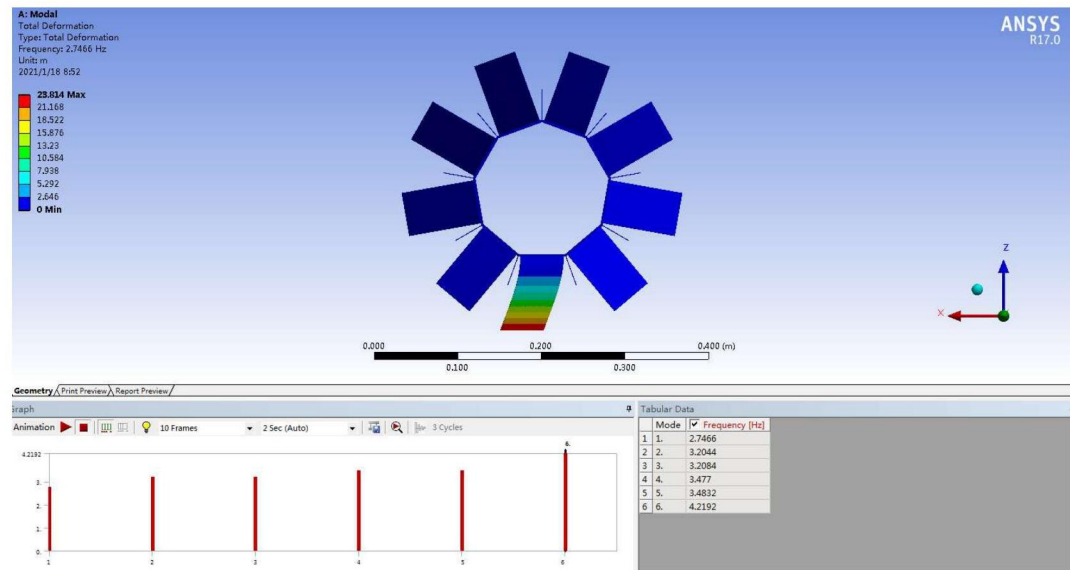


图4

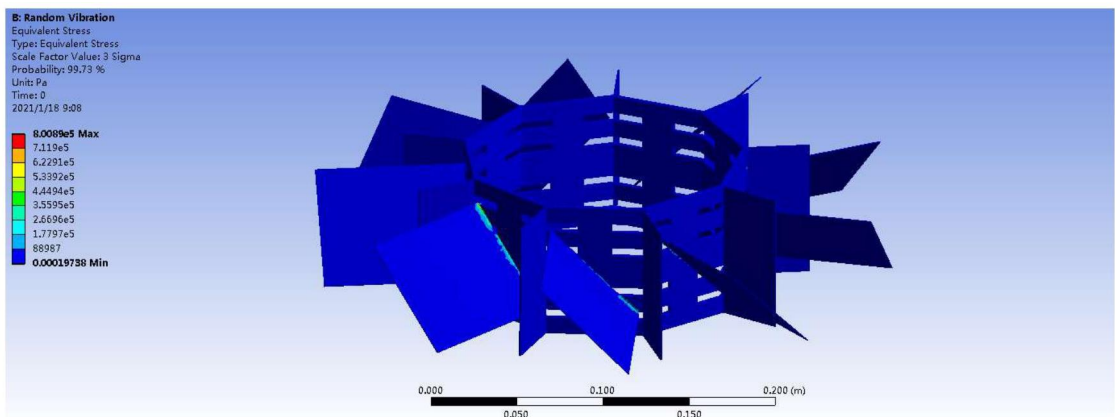


图5

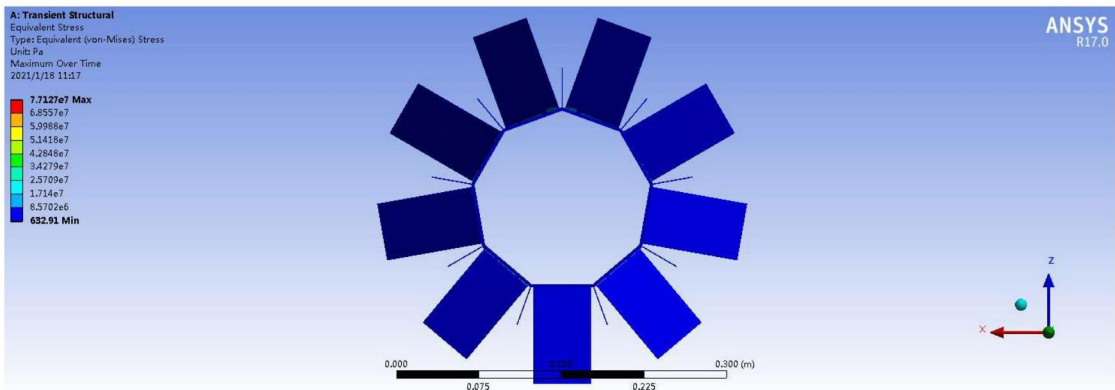


图6

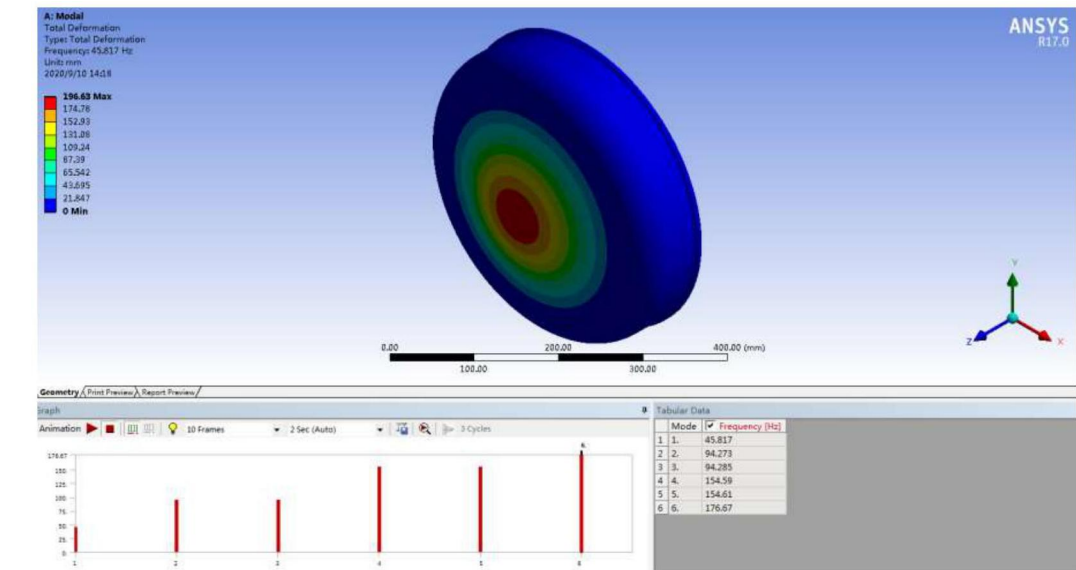


图7

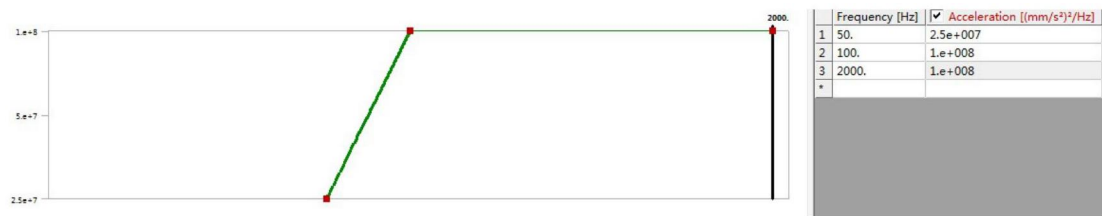


图8

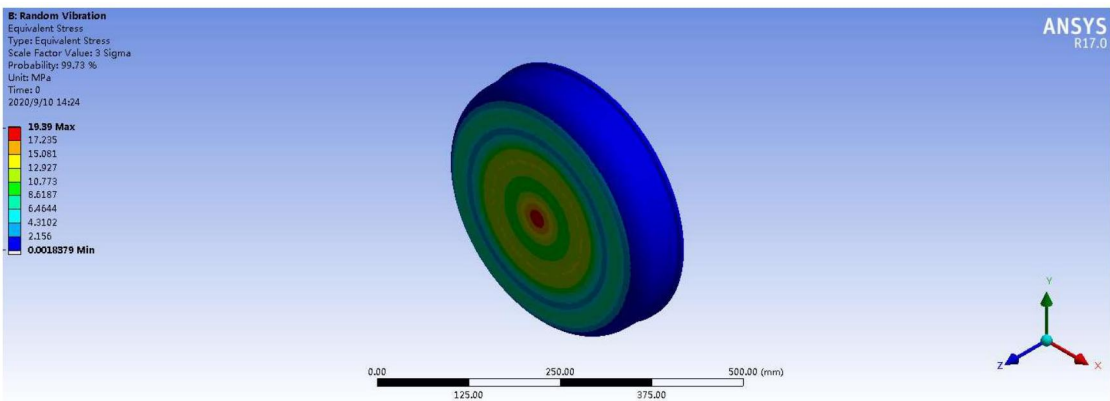


图9

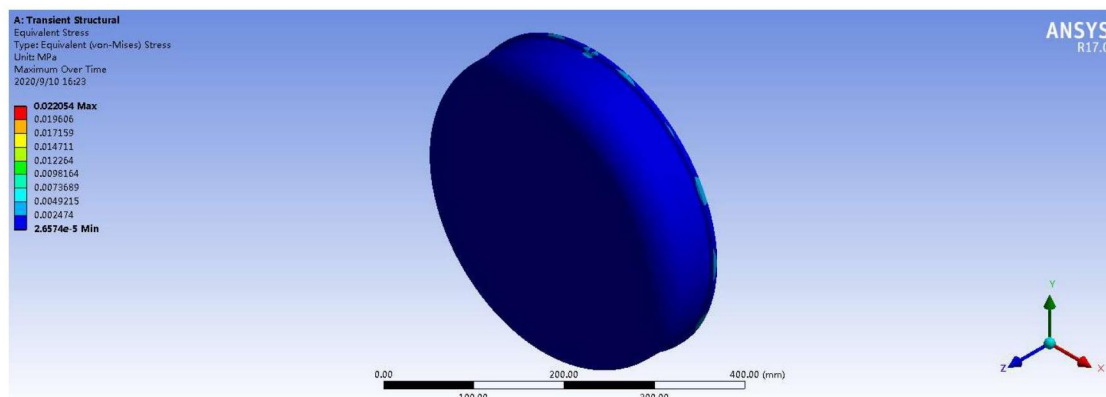


图10

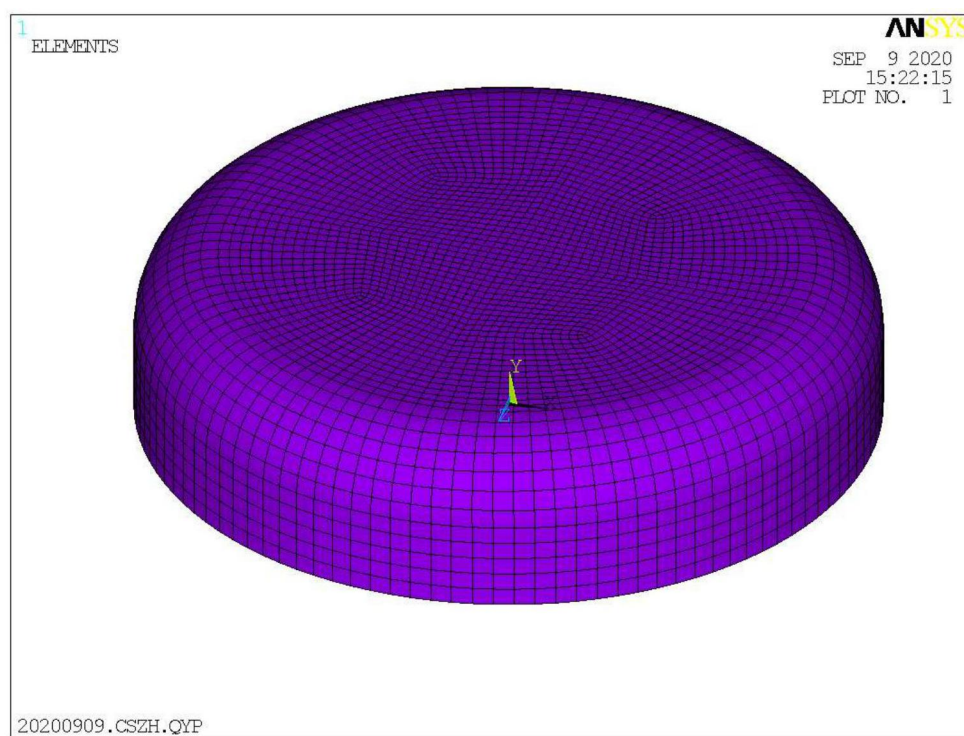


图11

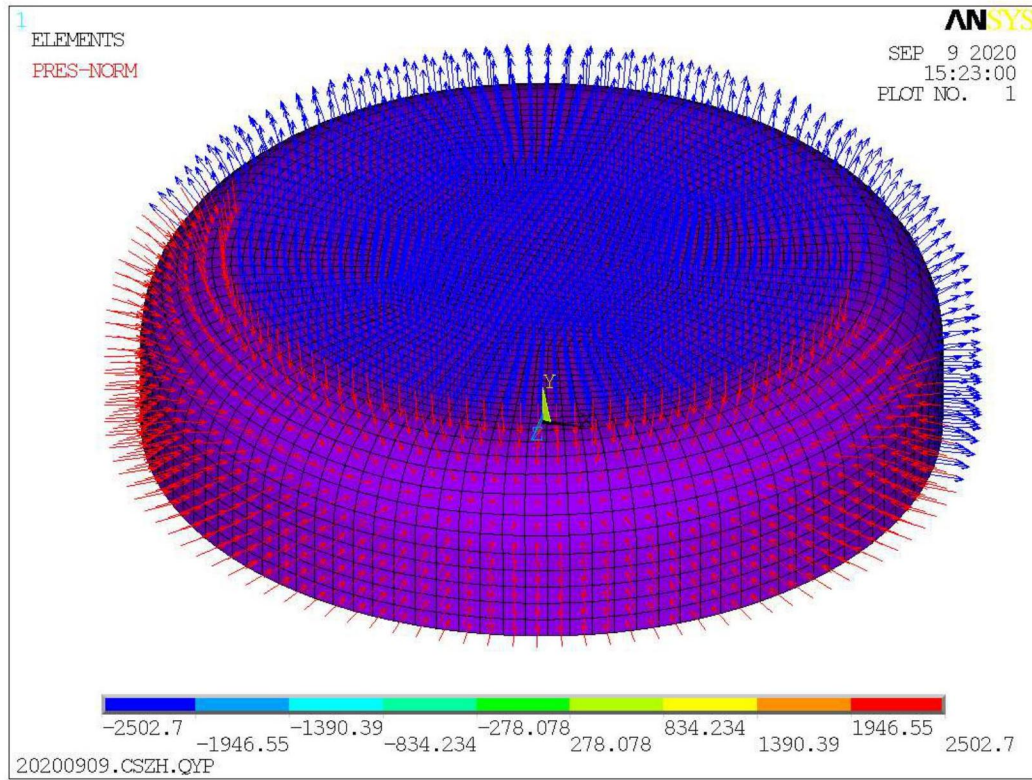


图12

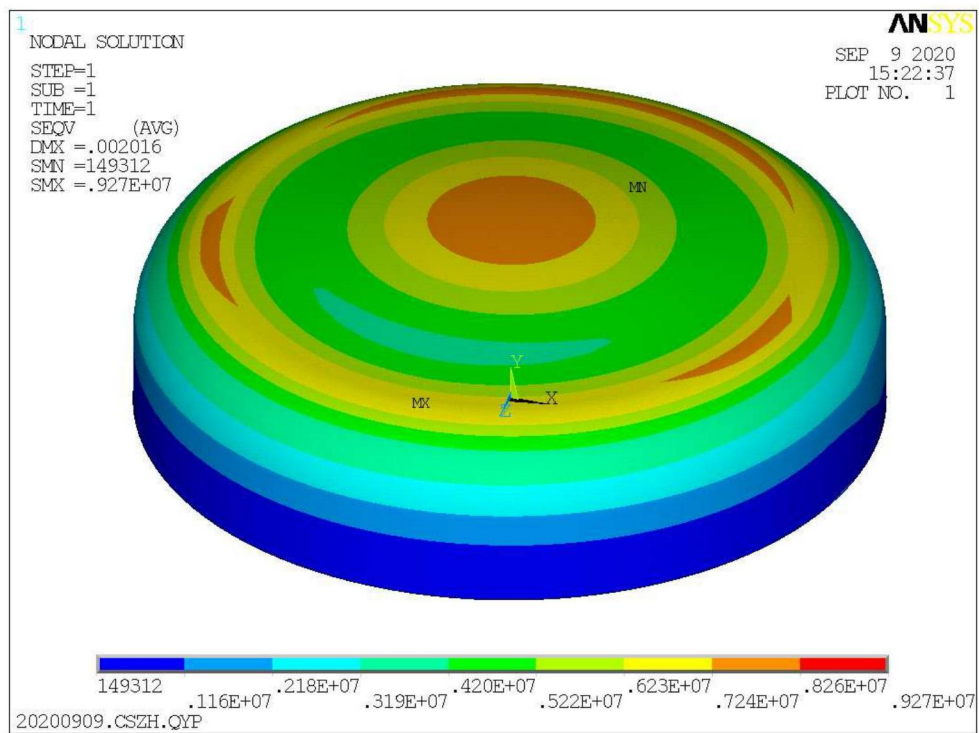


图13

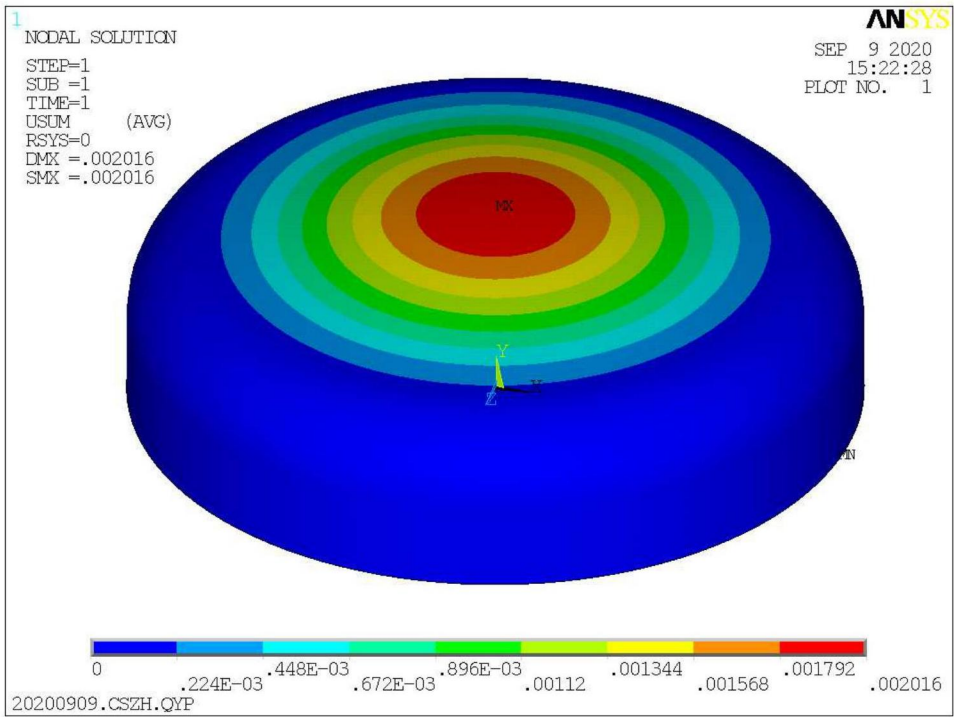


图14

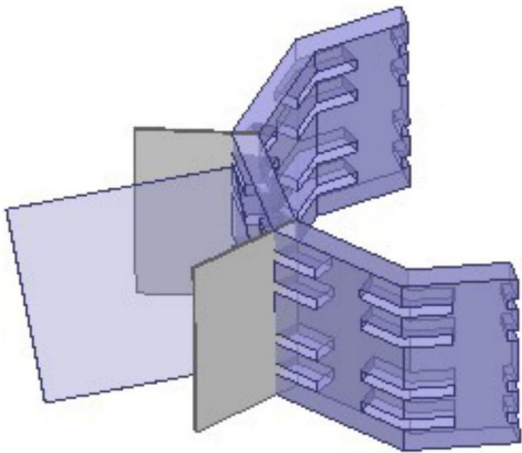


图15

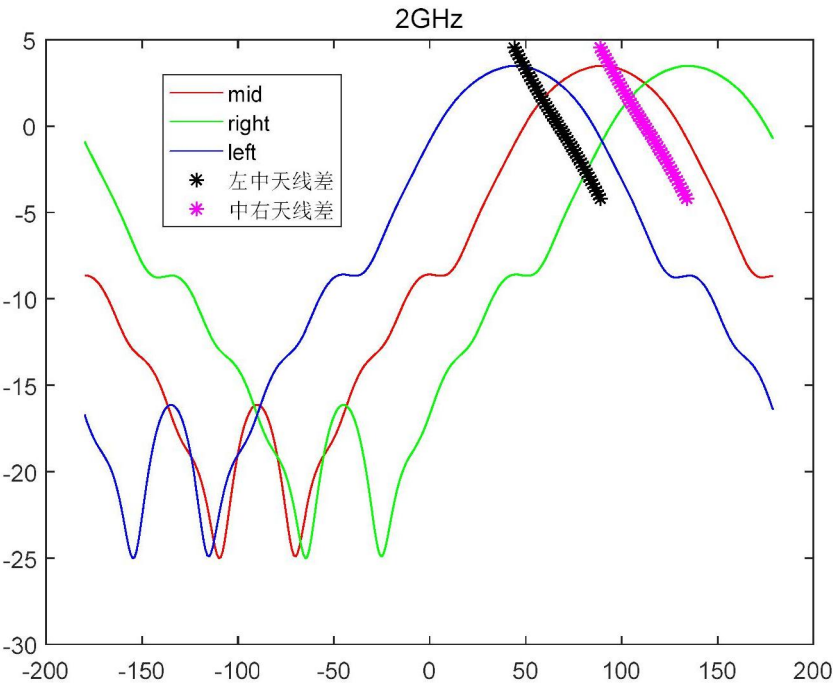


图16

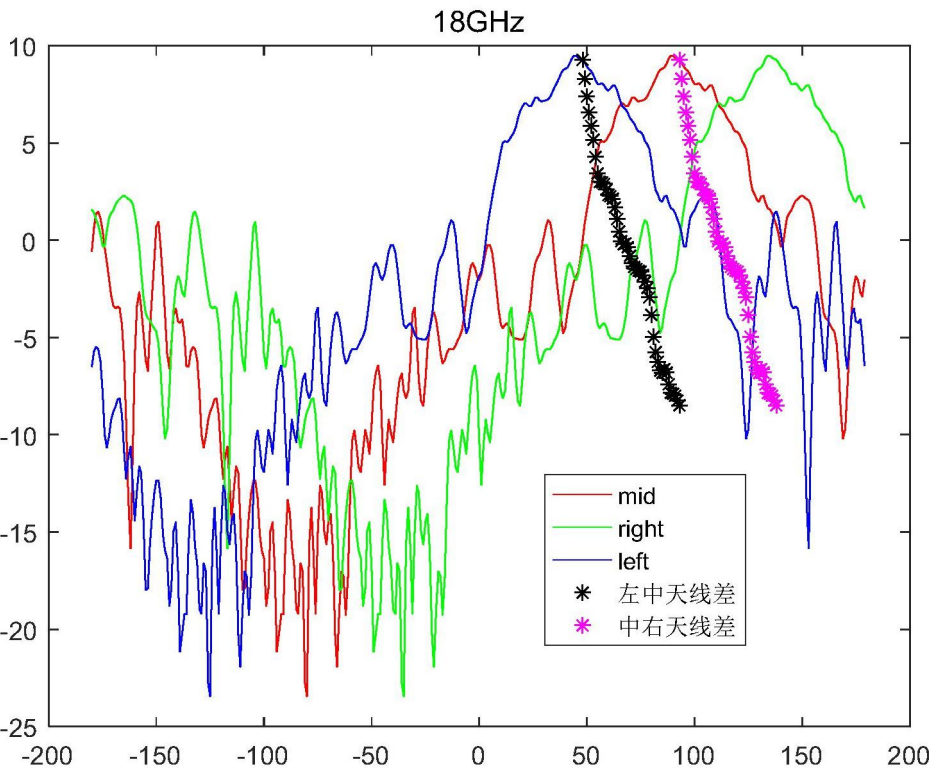


图17

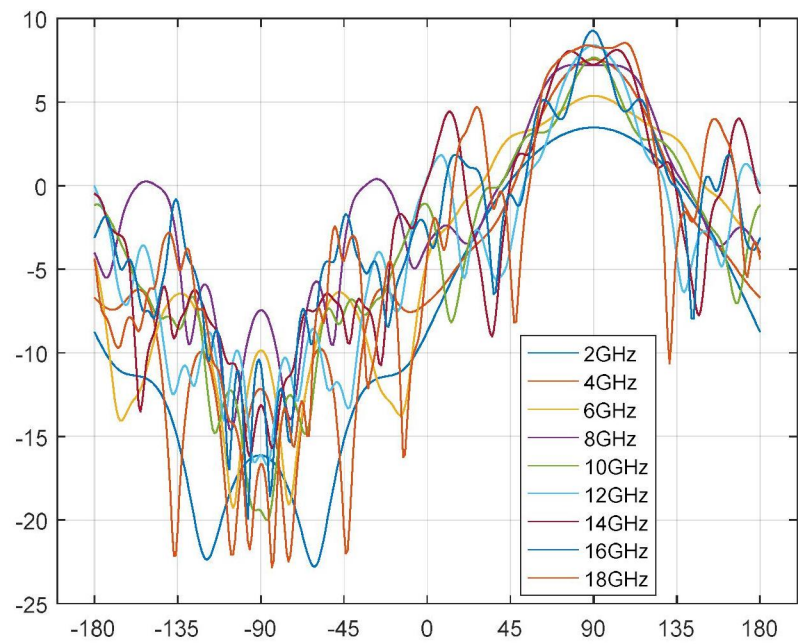


图18

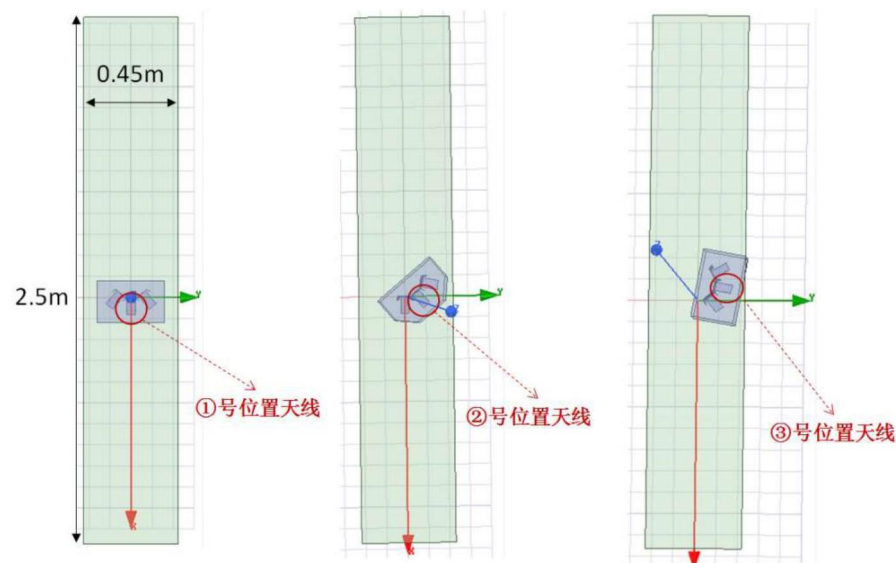


图19

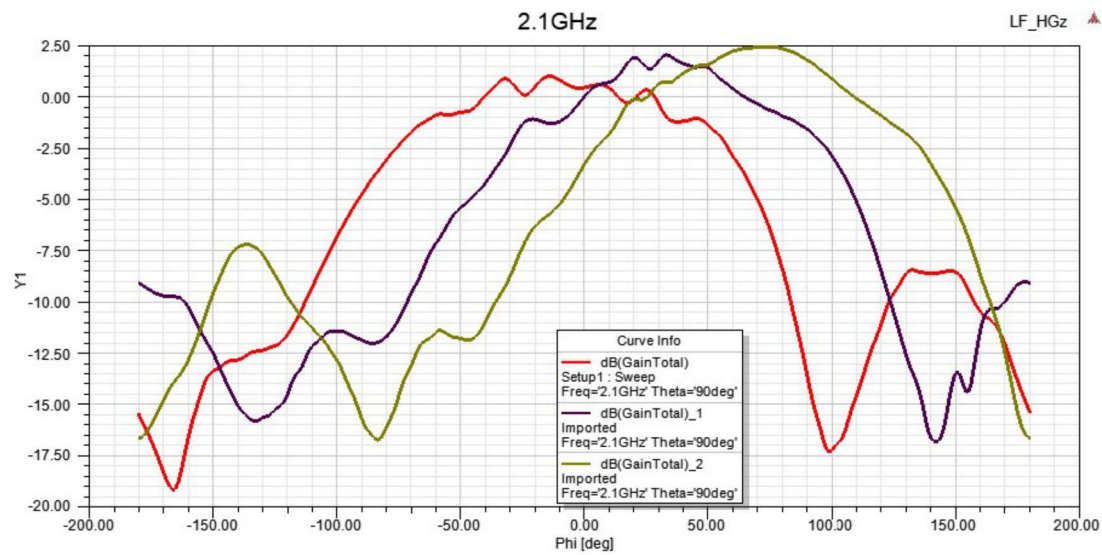


图20

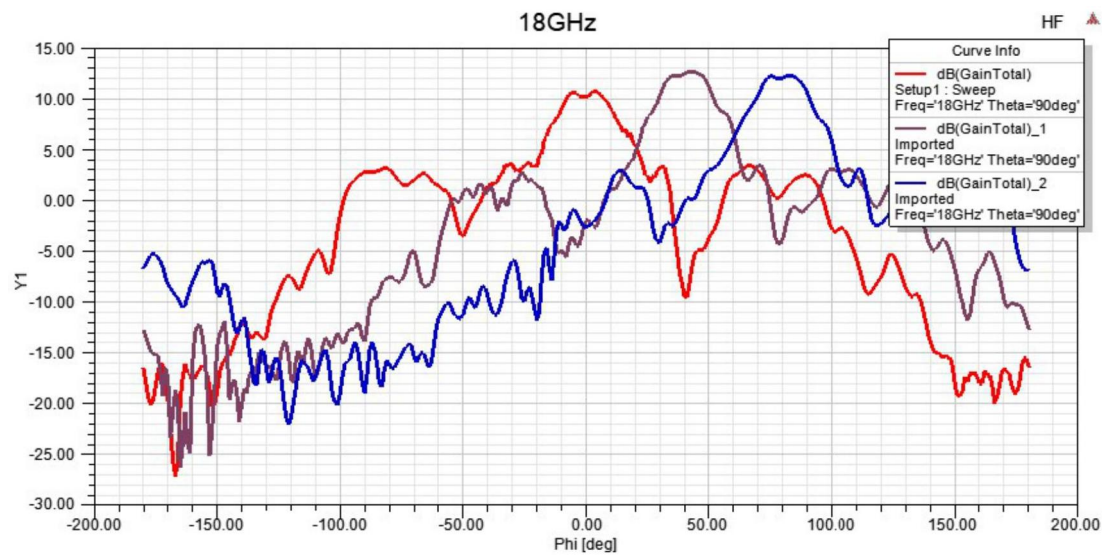


图21

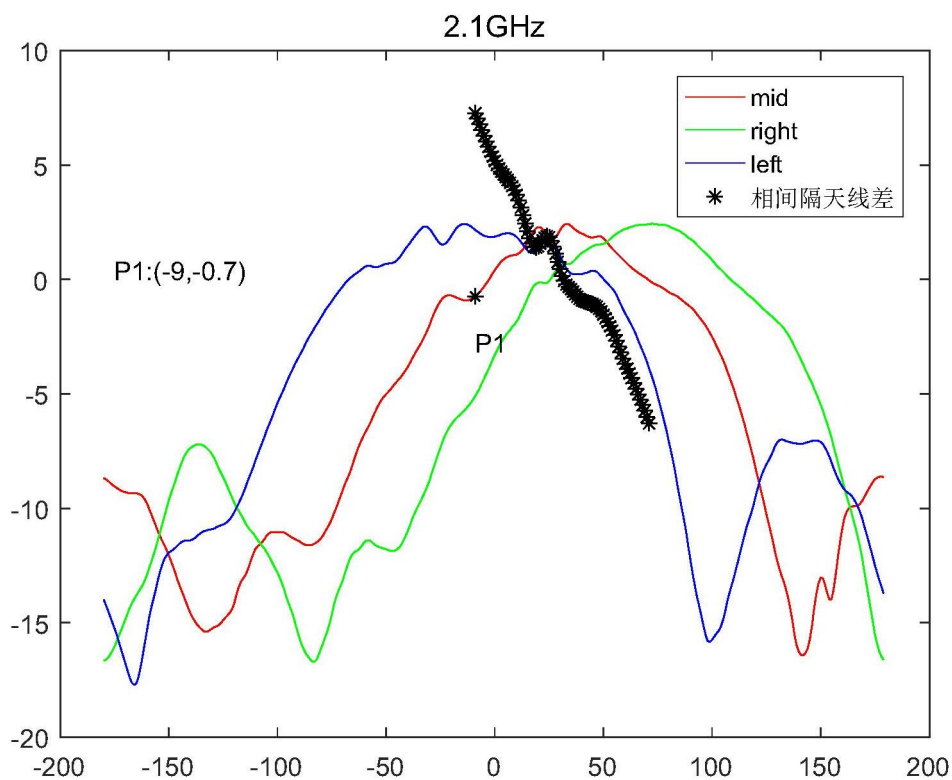


图22

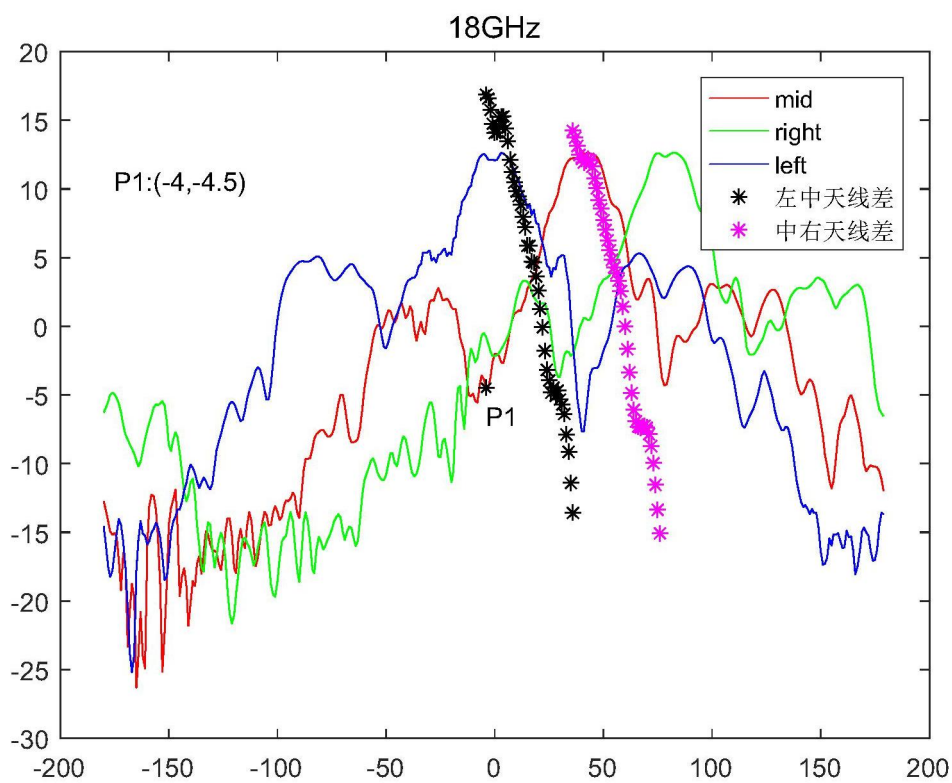


图23

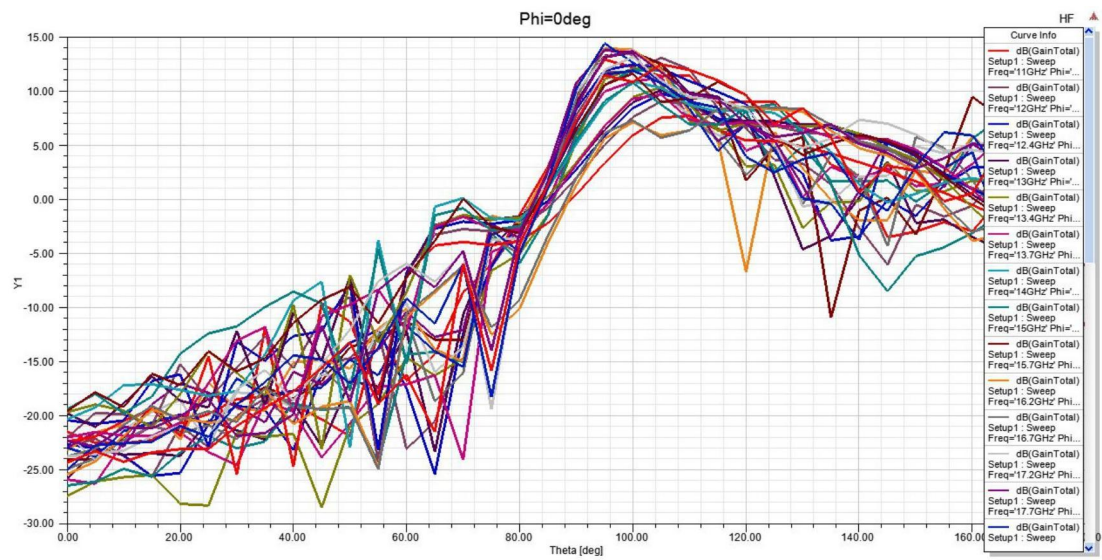


图24