



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116666993 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 29

(21) 申请号 202310439483.4

(22) 申请日 2023.04.23

(71) 申请人 西安乾景防务技术有限公司

地址 710000 陕西省西安市高新区锦业路
135号

(72) 发明人 翟炜刚

(74) 专利代理机构 温州市品创专利商标代理事

务所(普通合伙) 33247

专利代理师 程春生

(51) Int. Cl.

H01Q 21/00 (2006.01)

H01Q 21/20 (2006.01)

H01Q 1/00 (2006.01)

H01Q 3/30 (2006.01)

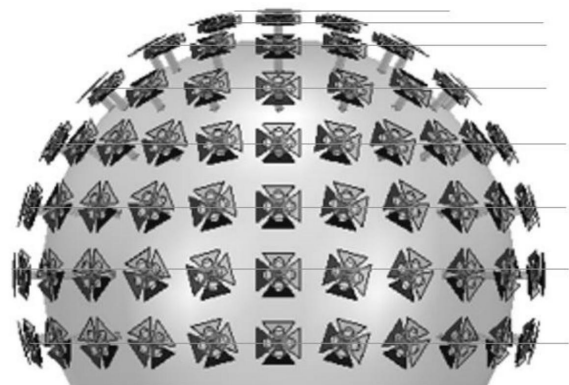
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种共形阵列天线的阵元布阵方法

(57) 摘要

本发明公开了一种共形阵列天线的阵元布阵方法,涉及共形相控阵天线技术领域。该共形阵列天线的阵元布阵方法包括以下步骤:阵元间距设计、线单元采用双极化对称阵子、球面共形天线阵列设计为M层、通过球面共形天线阵列中所有阵元等幅同相馈电产生上半球各向同性全向方向图。该共形阵列天线的阵元布阵方法,为大型球状相控阵天线应用场景下,提供了一种简易、有规律的阵列流形设计,同时为大型球状相控阵天线提供了阵元等幅同相馈电下形成上半球各向同性全向方向图,共形阵列天线具有覆盖全空域、宽波束方向图均匀增益波动小、等效全向辐射功率高、辐射方向和波宽可灵活控制等特点。



1. 一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述布阵方法包括以下步骤:

S1、阵元间距按照 $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1+|\sin \theta|}$ 左右设计;

S2、天线单元采用双极化对称阵子,实现两种旋向的圆极化方向图;

S3、球面共形天线阵列设计为M层;

S4、通过球面共形天线阵列中所有阵元等幅同相馈电产生上半球各向同性全向方向图,部分相邻阵元等幅同相馈电可以产生多种角度指向和多种角度覆盖范围的超宽波束方向图;

设计阵元布阵遵循布阵原则,所述布阵原则为:

T1、以球面大小为基础,从天顶第一个阵元考虑满足阵元间距d的条件下需要设计的层数可以覆盖上半球面,确定1/4球面经线上阵元复制的个数和角度,同时确定每层布阵的起始单元位置;

T2、每层布阵的首要原则是布完纬度一层的一圈后单元间距在d的近似值,每一层的布阵方式确定该层的单元间距d1和单元数量N1后,该层布阵以一个单元为起始进行沿Z轴的旋转复制,旋转角度为 $360^\circ/N1$,获得第二个单元的旋转复制位置;

T3、按照T1和T2中两条原则可以作为所有给定频段,不同阵元设计,不同球面共形阵大小的所有设计依据。

2. 根据权利要求1所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述T1中1/4球面经线上天线布局流形按照如下方式布阵:以天顶一个阵元为基础,沿X轴或Y轴进行旋转复制,旋转角度为 $90^\circ/M$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述T2进一步的包括:第二单元此后应在该复制位置的基础上沿球形进行自转,自转角度亦为 $360^\circ/N1$,以此类推该层第三个单元是在第二个单元的基础上进行上述操作完成布局,以上原则可以完成该层所有单元布局流形。

4. 根据权利要求1所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述 $\lambda_{\min}$ 由宽频单元最高频点计算,且 θ 取 60° 。

5. 根据权利要求1所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述S1进一步的包括:对于确定的工作频段和最大扫描角 θ ,依据相控阵天线理论为确保最大扫描角不出现栅瓣的阵元间距由下式给出: $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1+|\sin \theta|}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:所述天线单元为右旋圆极化,传播方向为正z轴,圆极化波用沿 $\hat{x}$ 方向和 $\hat{y}$ 方向的两个线极化分量描述:

$$\mathbf{E} = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

所述 ω 为角频率,所述t为时间,所述z为电磁波传播距离。

7. 根据权利要求6所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:将所述天线单元按逆时针方向绕z轴旋转 τ ,旋转后该圆极化波用 $\hat{x}1, \hat{y}1$ 表示,坐标旋转示意 $\hat{x}, \hat{y}$ 与 $\hat{x}1, \hat{y}1$ 关系如下:

$$\widehat{x1} = \cos(\tau)\hat{x} + \sin(\tau)\hat{y}$$

$$\widehat{y1} = -\sin(\tau)\hat{x} + \cos(\tau)\hat{y}$$

$$\widehat{x1} + j\widehat{y1} = (\cos(\tau) - j\sin(\tau))\hat{x} + (\sin(\tau) + j\cos(\tau))\hat{y} = (\hat{x} + j\hat{y})e^{-j\tau}$$

旋转后的天线单元圆极化波 E_1 可表示为:

$$E_1 = E_0(\widehat{x1} + j\widehat{y1})e^{j(\omega t - kz)} = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \tau)}$$

第二个阵元旋转 180° 摆放即两个阵元相对摆放,则两个阵元指向 $(0^\circ, 0^\circ)$ 的电场叠加可表示为:

$$E + E_1 = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)} + E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \pi)} = 0。$$

8. 根据权利要求7所述的一种共形阵列天线的阵元布阵方法,其特征在于:辐射右旋圆极化波的天线单元按逆时针绕z轴旋转 τ 角相当于对天线单元馈电附加移相 $-\tau$, τ 取 π 时 $E+E_1$ 相互抵消为0。

一种共形阵列天线的阵元布阵方法

技术领域

[0001] 本发明涉及共形相控阵天线技术领域,具体为一种共形阵列天线的阵元布阵方法。

背景技术

[0002] 天线是一种变换器,它把传输线上传播的导行波,变换成在无界媒介(通常是自由空间)中传播的电磁波,或者进行相反的变换。在无线电设备中用来发射或接收电磁波的部件。无线电通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、遥感、射电天文等工程系统,凡是利用电磁波来传递信息的,都依靠天线来进行工作。此外,在用电磁波传送能量方面,非信号的能量辐射也需要天线。一般天线都具有可逆性,即同一副天线既可用于发射天线,也可用作接收天线。同一天线作为发射或接收的基本特性参数是相同的。这就是天线的互易定理。

[0003] 在现有技术中,随着相控阵领域的发展,一种形成全空域平坦均匀的超宽波束全向方向图是目前相控阵领域面临的一个重要课题,共形阵列天线具有覆盖全空域、宽波束方向图均匀增益波动小、等效全向辐射功率高、辐射方向和波宽可灵活控制等特点,而且具有系统容错率高、便于监控和维修等优点,是全向以及超宽波束方向图综合良好的方案选择;鉴于此,我们提出了一种共形阵列天线的阵元布阵方法。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种共形阵列天线的阵元布阵方法,解决了上述背景技术提到的问题。

[0005] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种共形阵列天线的阵元布阵方法,所述布阵方法包括以下步骤:

[0006] S1、阵元间距按照 $d \leq \frac{\lambda_{min}}{1+|\sin \theta|}$ 左右设计;

[0007] S2、天线单元采用双极化对称阵子,实现两种旋向的圆极化方向图;

[0008] S3、球面共形天线阵列设计为M层;

[0009] S4、通过球面共形天线阵列中所有阵元等幅同相馈电产生上半球各向同性全向方向图,部分相邻阵元等幅同相馈电可以产生多种角度指向和多种角度覆盖范围的超宽波束方向图;

[0010] 设计阵元布阵遵循布阵原则,所述布阵原则为:

[0011] T1、以球面大小为基础,从天顶第一个阵元考虑满足阵元间距d的条件下需要设计的层数可以覆盖上半球面,确定1/4球面经线上阵元复制的个数和角度,同时确定每层布阵的起始单元位置;

[0012] T2、每层布阵的首要原则是布完纬度一层的一圈后单元间距在d的近似值,每一层的布阵方式确定该层的单元间距d1和单元数量N1后,该层布阵以一个单元为起始进行沿Z轴的旋转复制,旋转角度为 $360^\circ/N1$,获得第二个单元的旋转复制位置;

[0013] T3、按照T1和T2中两条原则可以作为所有给定频段,不同阵元设计,不同球面共形阵大小的所有设计依据。

[0014] 可选的,所述T1中1/4球面经线上天线布局流形按照如下方式布阵:以天顶一个阵元为基础,沿X轴或Y轴进行旋转复制,旋转角度为 $90^\circ/M$ 。

[0015] 可选的,所述T2进一步的包括:第二单元此后应在该复制位置的基础上沿球形进行自转,自转角度亦为 $360^\circ/N1$,以此类推该层第三个单元是在第二个单元的基础上进行上述操作完成布局,以上原则可以完成该层所有单元布局流形。

[0016] 可选的,所述 $\lambda_{\min}$ 由宽频单元最高频点计算,且 θ 取 60° 。

[0017] 可选的,所述S1进一步的包括:对于确定的工作频段和最大扫描角 θ ,依据相控阵天线理论为确保最大扫描角不出现栅瓣的阵元间距由下式给出: $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1+|\sin \theta|}$ 。

[0018] 可选的,所述天线单元为右旋圆极化,传播方向为正z轴,圆极化波用沿 $\hat{x}$ 方向和 $\hat{y}$ 方向的两个线极化分量描述:

$$[0019] \quad E = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

[0020] 所述 ω 为角频率,所述 t 为时间,所述 z 为电磁波传播距离。

[0021] 可选的,将所述天线单元按逆时针方向绕z轴旋转 τ ,旋转后该圆极化波用 $\widehat{x1}, \widehat{y1}$ 表示,坐标旋转示意 $\hat{x}, \hat{y}$ 与 $\widehat{x1}, \widehat{y1}$ 关系如下:

$$[0022] \quad \widehat{x1} = \cos(\tau)\hat{x} + \sin(\tau)\hat{y}$$

$$[0023] \quad \widehat{y1} = -\sin(\tau)\hat{x} + \cos(\tau)\hat{y}$$

$$[0024] \quad \widehat{x1} + j\widehat{y1} = (\cos(\tau) - j\sin(\tau))\hat{x} + (\sin(\tau) + j\cos(\tau))\hat{y} = (\hat{x} + j\hat{y})e^{-j\tau}$$

[0025] 旋转后的天线单元圆极化波 E_1 可表示为:

$$[0026] \quad E_1 = E_0(\widehat{x1} + j\widehat{y1})e^{j(\omega t - kz)} = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \tau)}$$

[0027] 第二个阵元旋转 180° 摆放即两个阵元相对摆放,则两个阵元指向 $(0^\circ, 0^\circ)$ 的电场叠加可表示为:

$$[0028] \quad E + E_1 = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)} + E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \pi)} = 0。$$

[0029] 可选的,辐射右旋圆极化波的天线单元按逆时针绕z轴旋转 τ 角相当于对天线单元馈电附加移相 $-\tau$, τ 取 π 时 $E+E_1$ 相互抵消为0。

[0030] 本发明提供了一种共形阵列天线的阵元布阵方法。具备以下有益效果:

[0031] 1、该共形阵列天线的阵元布阵方法,为大型球状相控阵天线应用场景下,提供了一种简易、有规律的阵列流形设计,同时为大型球状相控阵天线提供了阵元等幅同相馈电下形成上半球各向同性全向方向图,共形阵列天线具有覆盖全空域、宽波束方向图均匀增益波动小、等效全向辐射功率高、辐射方向和波宽可灵活控制等特点,解决了传统球面、柱面阵列天顶方向增益有零深的问题。

[0032] 2、该共形阵列天线的阵元布阵方法,为大型共形相控阵天线提供了形成上半球各向同性全向方向图和多种角度指向和多种角度覆盖范围的超宽波束方向图,上半球全向方

向图增益波动2dB。

附图说明

- [0033] 图1为本发明球状相控阵天线的阵元分布示意图；
- [0034] 图2为本发明球状相控阵天线三维示意图；
- [0035] 图3为本发明球状相控阵天线俯视示意图；
- [0036] 图4为本发明阵元自转示意图；
- [0037] 图5为本发明实施例部分相邻阵元等幅同相馈电产生角度的定向宽波束示意图；
- [0038] 图6为本发明角度范围选区的定向宽波束3D方向图；
- [0039] 图7为本发明角度范围选区的定向宽波束2D方向图；
- [0040] 图8为本发明阵列天线全向方向图仿真增益波动示意图。

具体实施方式

[0041] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0042] 请参阅图1-图8，本发明提供一种技术方案：一种共形阵列天线的阵元布阵方法，包括以下步骤：

[0043] S1、阵元间距按照 $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1 + |\sin \theta|}$ 左右设计， $\lambda_{\min}$ 由宽频单元最高频点计算， θ 取 60° ；

[0044] 对于确定的工作频段和最大扫描角 θ ，依据相控阵天线理论为确保最大扫描角不出现栅瓣的阵元间距由下式给出：

$$[0045] \quad d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1 + |\sin \theta|}$$

[0046] 从顶面看，可以将该设计近似理解为将一个平面阵列以等阵元间距的方式铺在上半球面上。由于每个阵元周围的单元是等间距且以微小角度旋转排布于上半球面，故能形成近似上半球面各向同性的方向图，解决了传统球面、柱面阵列天顶方向增益有零深的问题。从侧面叠层角度去看该设计可以理解为该共形阵列不再只是以传统的共形阵列设计一样，每层阵元只是沿Z轴旋转复制获得，而是每个阵元沿Z轴旋转复制的同时在沿与球心的连线为轴进行自转，自转的角度等于该层以一个阵元为基础旋转复制到目标位置的旋转复制角度。

[0047] 由于传统球面、柱面相控阵天线的各阵元不在同一个平面上，各阵元的极化方向都不同，需要考虑球形相控阵天线单元的非同向极化问题。当不同单元发射电磁波远场的电场矢量极化方向相同时，极化匹配，电场矢量处于叠加态，是最佳的发射状态。但传统球阵天线存在非同向极化的问题，导致天顶方向电场矢量不合成而是极化相消，天线性能下降。该设计的目的为解决传统球面、柱面阵列方向图在天顶方向极化抵消的问题。

[0048] 以电磁场理论去理解该设计的效果，若以两个处于某层相对于Z轴 180° 的旋转复

制位置来说明。

[0049] 天线单元为右旋圆极化,传播方向为正z轴,该圆极化波可用沿 $\hat{x}$ 方向和 $\hat{y}$ 方向的两个线极化分量描述:

$$[0050] \quad E = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

[0051] 式中 ω 为角频率, t 为时间, z 为电磁波传播距离。

[0052] 将该天线单元按逆时针方向绕z轴旋转 τ ,旋转后该圆极化波用 $\widehat{x1}, \widehat{y1}$ 表示。

[0053] 坐标旋转示意 $\hat{x}, \hat{y}$ 与 $\widehat{x1}, \widehat{y1}$ 关系如下:

$$[0054] \quad \widehat{x1} = \cos(\tau)\hat{x} + \sin(\tau)\hat{y}$$

$$[0055] \quad \widehat{y1} = -\sin(\tau)\hat{x} + \cos(\tau)\hat{y}$$

$$[0056] \quad \widehat{x1} + j\widehat{y1} = (\cos(\tau) - j\sin(\tau))\hat{x} + (\sin(\tau) + j\cos(\tau))\hat{y} = (\hat{x} + j\hat{y})e^{-j\tau}$$

[0057] 旋转后的天线单元圆极化波 E_1 可表示为:

$$[0058] \quad E_1 = E_0(\widehat{x1} + j\widehat{y1})e^{j(\omega t - kz)} = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \tau)}$$

[0059] 第二个阵元旋转 180° 摆放即两个阵元相对摆放,则两个阵元指向 $(0^\circ, 0^\circ)$ 的电场叠加可表示为:

$$[0060] \quad E + E_1 = E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)} + E_0(\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz - \pi)} = 0$$

[0061] 由公式可知,辐射右旋圆极化波的天线单元按逆时针绕z轴旋转 τ 角相当于对天线单元馈电附加移相 $-\tau$,当 τ 取 π (即旋转 180° 位置的第二个阵元)时根据欧拉公式展开, $E + E_1$ 相互抵消为0。

[0062] 该设计意在如果要避免这种对位(相差 180° 旋转复制)两个阵元极化对消带来的影响,则采用补偿相位形式给第二个阵元补偿相应的旋转角度(180°)即可,采用本设计提出的单元物理自转法避免极化对消则可以通过单元绕与球心连线为轴旋转 180° 相位即可实现(即自转的角度等于该层以一个阵元为基础旋转复制到目标位置的旋转复制角度,普遍意义下即为 τ 角度),无需对不同单元配置不同的相位,实现阵列所有阵元等幅同相馈电也能改善方向图的天顶深坑。

[0063] S2、天线单元采用双极化对称阵子,可实现两种旋向的圆极化方向图。

[0064] S3、球面共形天线阵列设计为M层;

[0065] 上述设计阵元布阵遵循布阵原则,布阵原则为每一层的布阵原则为:

[0066] T1、以球面大小为基础,从天顶第一个阵元考虑以满足阵元间距 d 的条件下需要设计多少层(M)可以覆盖上半球面,以此确定1/4球面经线上阵元复制的个数和角度,也确定了每层(纬度)布阵的起始单元位置。1/4球面经线上天线布局流形,按照以下原则布阵,以天顶一个阵元为基础,沿X轴或Y轴进行旋转复制,旋转角度为 $90^\circ/M$,以此完成1/4球面经线的阵列布局,也以此确定了每层的布局的起始位置单元。

[0067] T2、每层(纬度)布阵的首要原则也是布完纬度一层的一圈后单元间距在 d 左右,由于每层圆形直径不等,故原则上不要求精确保持 d 的单元间距,在 d 间距的正负差值的绝对值按照最小的取即可。具体每一层的布阵方式即确定了该层的单元间距 $d1$ 和单元数量 $N1$

后,该层布阵以一个单元为起始进行沿Z轴的旋转复制,旋转角度为 $360^{\circ}/N1$,以此获得第二个单元的旋转复制位置,第二单元此后应在该复制位置的基础上沿球形进行自转,自转角度亦为 $360^{\circ}/N1$ 。以此类推该层第三个单元是在第二个单元的基础上进行上述操作完成布局。以上原则可以完成该层所有单元布局流形。

[0068] T3、以上两条原则可以作为所有给定频段,不同阵元设计,不同球面共形阵大小的所有设计依据。

[0069] S4、通过球面共形天线阵列中所有阵元等幅同相馈电可以产生上半球各向同性全向方向图(即 ϕ 范围 0° - 360° , θ 范围 0° - 90°),部分相邻阵元等幅同相馈电可以产生多种角度指向和多种角度覆盖范围的超宽波束方向图。

[0070] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

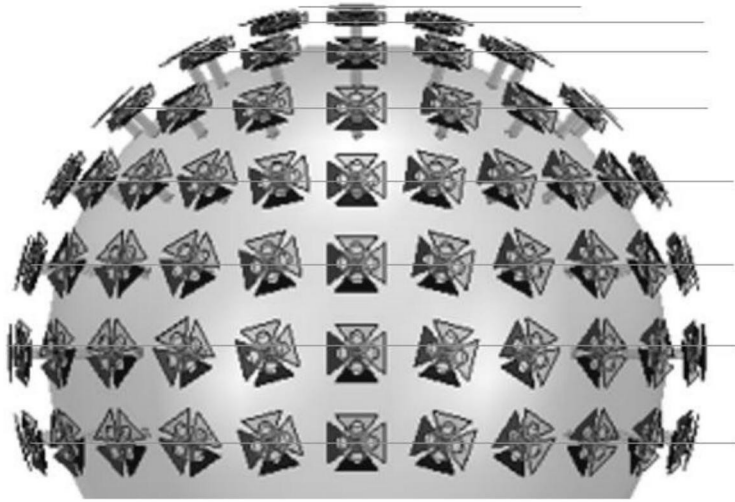


图1

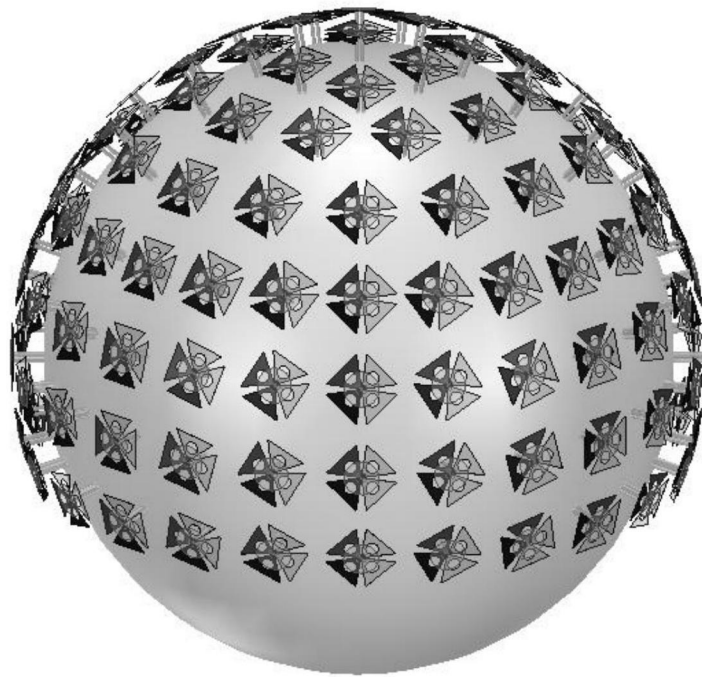


图2

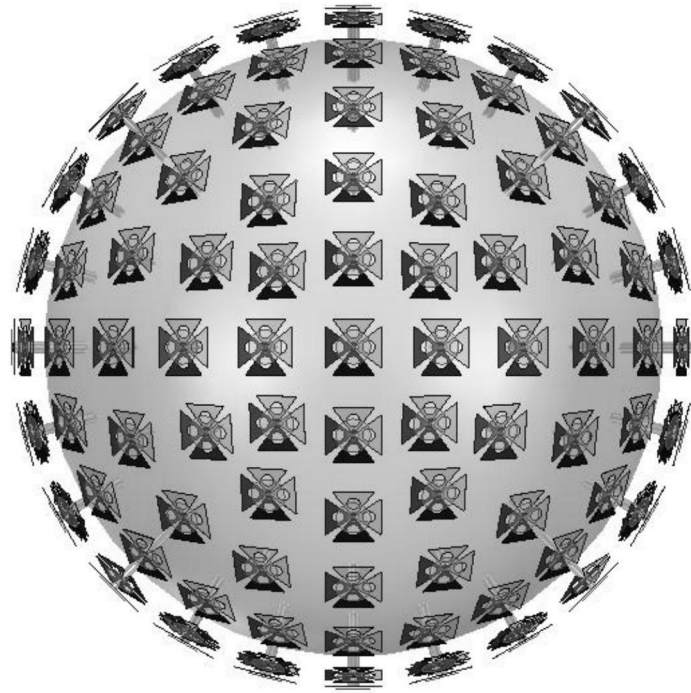


图3

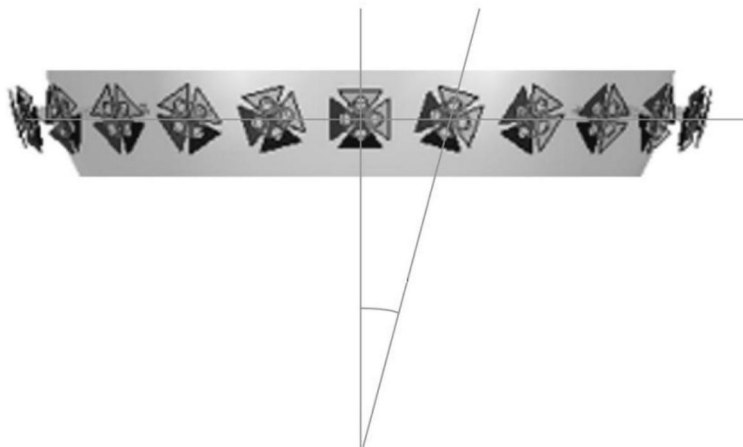


图4

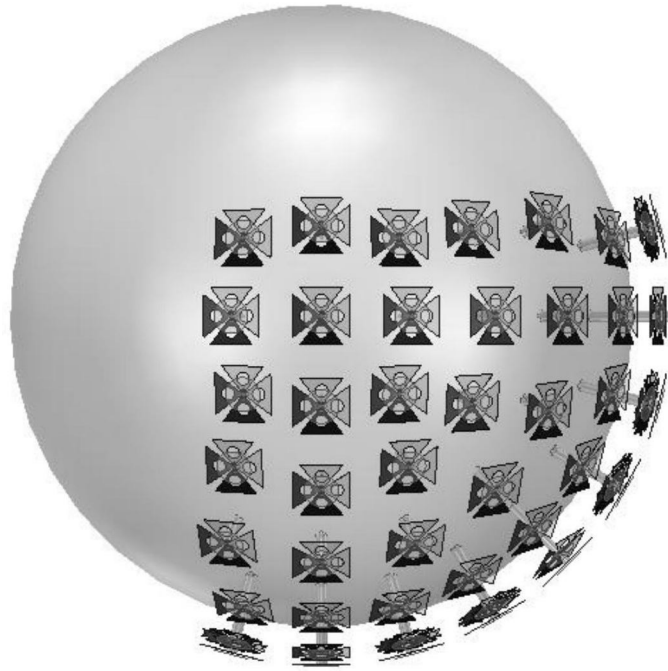


图5

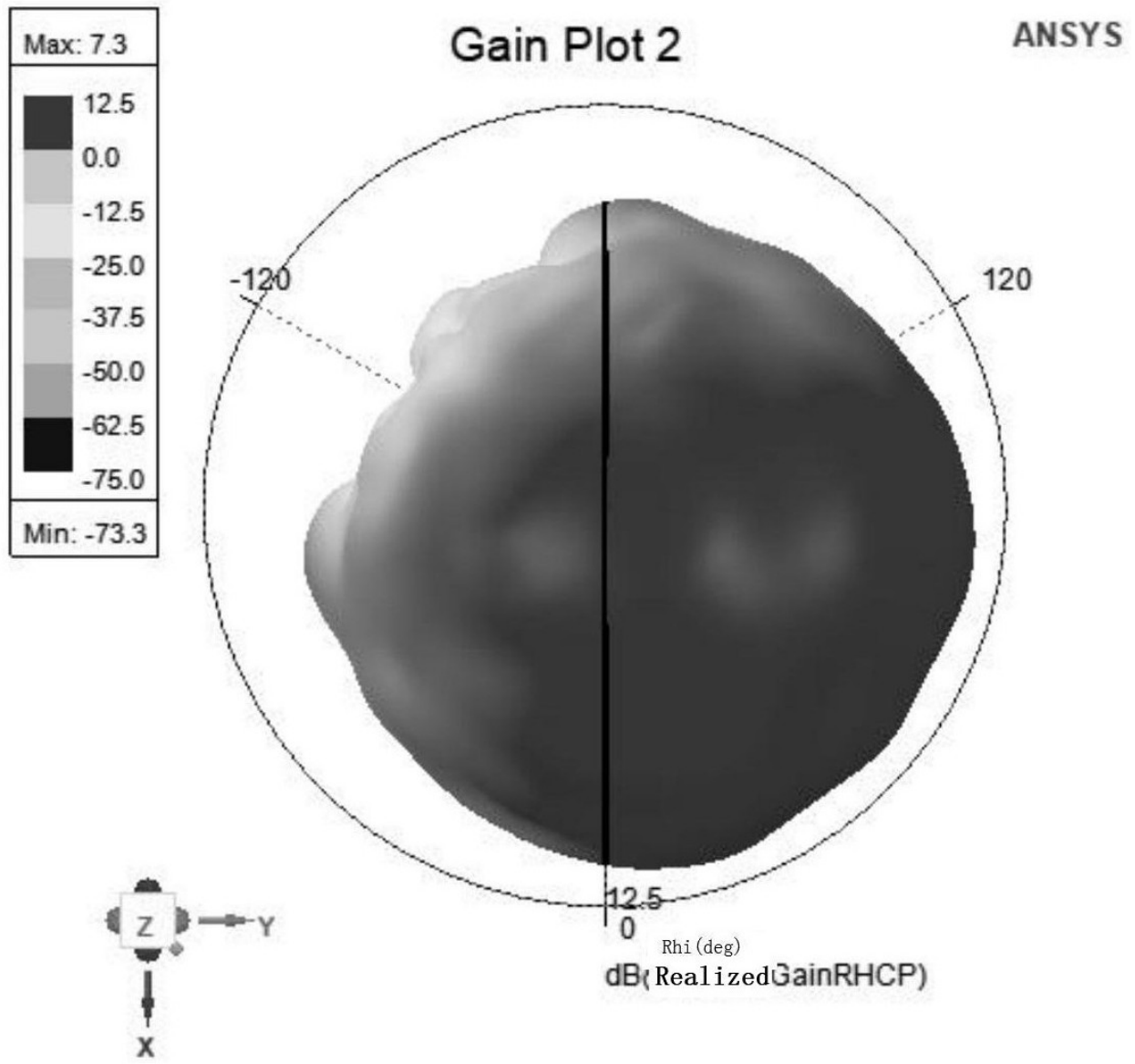


图6

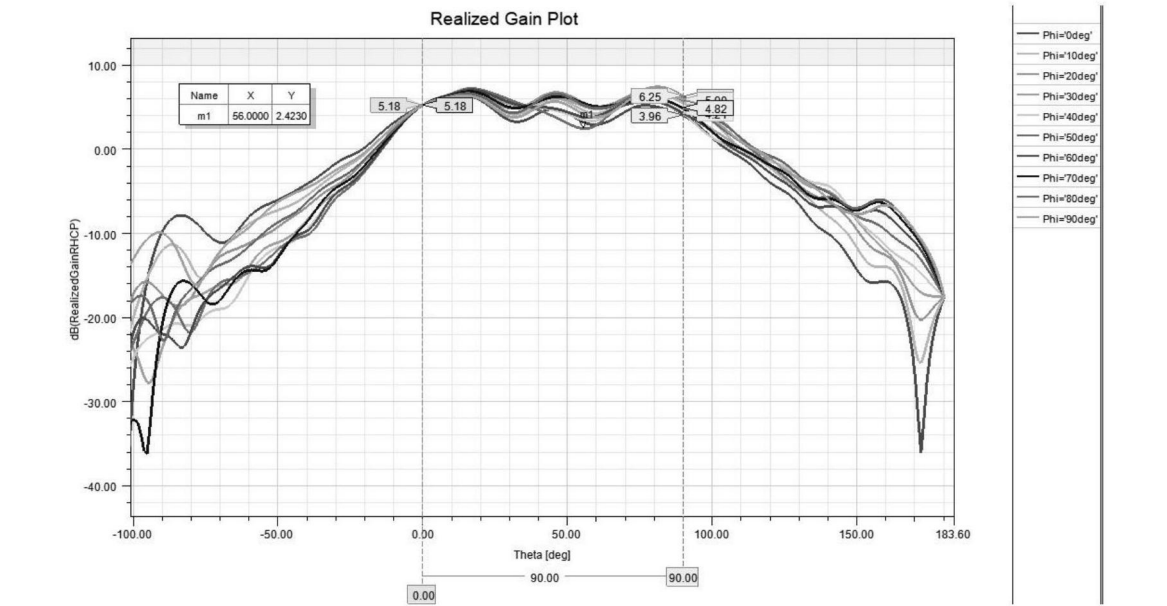


图7

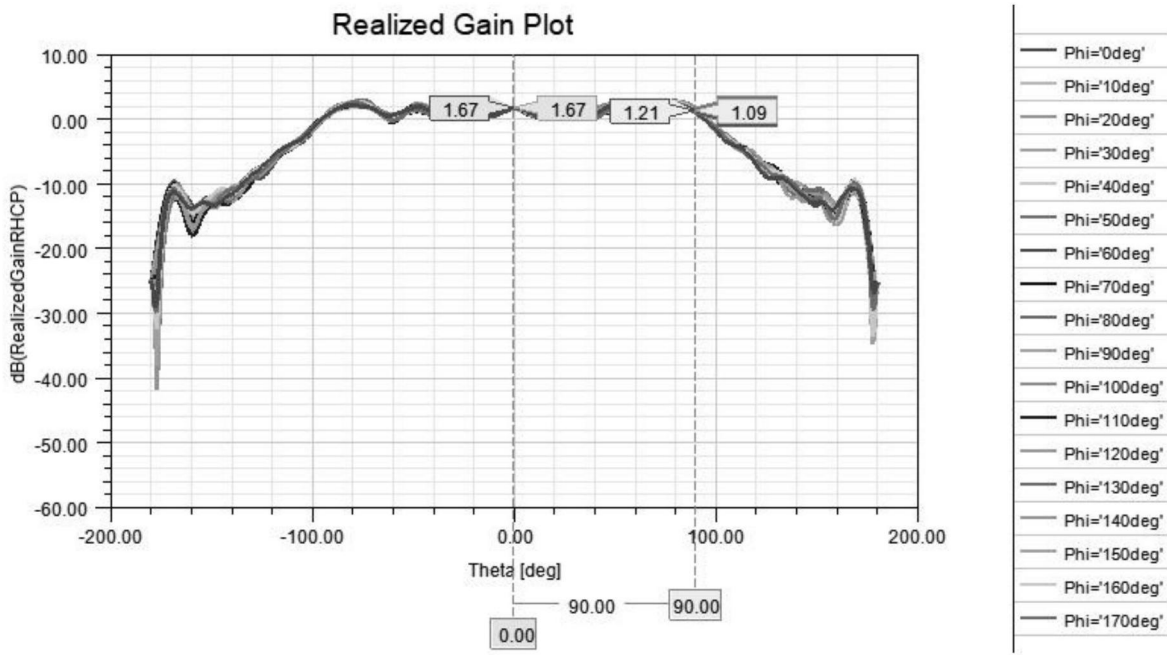


图8