



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114583473 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 26

(21) 申请号 202210478692.5

H01Q 21/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.05

H01Q 1/50 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H01Q 3/28 (2006.01)

申请公布号 CN 114583473 A

H01Q 3/34 (2006.01)

H01Q 1/52 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.06.03

G06F 30/20 (2020.01)

(73) 专利权人 西安星通通信科技有限公司

G06F 111/04 (2020.01)

地址 710119 陕西省西安市高新区丈八街办新型工业园西部大道2号企业壹号公园10号楼

G06F 111/10 (2020.01)

(72) 发明人 贾振 李凡 崔红岗

(56) 对比文件

CN 106099394 A, 2016.11.09

(74) 专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

US 2018175509 A1, 2018.06.21

CN 206022612 U, 2017.03.15

专利代理师 汪海艳

审查员 路宸

(51) Int. Cl.

H01Q 21/06 (2006.01)

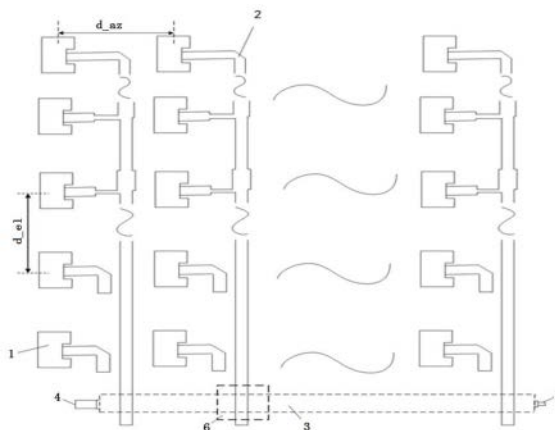
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种波束赋形相控阵天线系统及其设计方法

(57) 摘要

本发明属于天线技术领域,具体涉及一种波束赋形相控阵天线系统及其设计方法。解决现有技术存在的不能兼顾天线系统剖面低、易于其他模块集成设计、结构尺寸紧凑、波束赋形方向图效果好的难题。本发明波束赋形相控阵天线系统采用串并馈结合的网络形式,天线与波束赋形馈电网络设计在同一层或不同层,具有结构尺寸紧凑和较低的剖面的优势,且便于与其他模块集成化设计,同时通过调整辐射单元间距以及馈电线参数,使波束赋形馈电网络实际输出的幅度相位值与目标幅度相位加权值高度吻合,最终实现比较理想的赋形方向图效果。



1. 一种波束赋形相控阵天线系统,其特征在于:包括辐射单元阵列、波束赋形馈电网络阵列、校准网络(3)、校准T/R(4)、负载(5)和收发模块(6);

所述辐射单元阵列与波束赋形馈电网络阵列设置在同一层;

所述校准网络(3)、负载(5)、校准T/R(4)和收发模块(6)设置在同一层,且与辐射单元阵列和波束赋形馈电网络阵列位于不同层;

所述辐射单元阵列为二维矩形阵列,包括 $n \times m$ 个辐射单元(1),其中 n 和 m 均为大于1的整数;

所述波束赋形馈电网络阵列采用微带线形式,由 m 条波束赋形馈电网络(2)并联构成;每条波束赋形馈电网络(2)的一端作为输入端;每条波束赋形馈电网络(2)在远离其输入端的微带线上设有 n_2 个T型结功分器, n_2 个T型结功分器沿微带线长度方向排布,通过微带线相互串联;T型结功分器的其中一个输出端作为波束赋形馈电网络(2)的输出端;其中 n_2 为小于 n 的整数;

每条波束赋形馈电网络(2)共包括 n 个输出端, n 个输出端分别与 n 个辐射单元(1)一一相连,组成1列俯仰线阵,共形成 m 列俯仰线阵, m 列俯仰线阵依次线性排列,形成一维赋形、一维扫描的相控阵天线;在俯仰方向通过调整波束赋形馈电网络(2)各T型结功分器的设计参数、各输出端之间的间距以及微带线的长度实现所要求的天线赋形方向图,在方位方向通过相位扫描实现满足设定范围的波束覆盖;

所述校准网络(3)位于每条波束赋形馈电网络(2)输入端的下方,与每条波束赋形馈电网络(2)输入端相连;

所述校准T/R(4)连接在校准网络(3)一端,所述负载(5)连接在校准网络(3)的另一端;

所述收发模块(6)与各条波束赋形馈电网络(2)的输入端连接;方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} 满足波束扫描时不出现栅瓣的要求,如下式所示:

$$d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

其中, λ 是最高工作频率所对应的波长, θ 为最大扫描角;所述校准网络(3)位于每条波束赋形馈电网络(2)输入端下方的下层介质板中;所述辐射单元(1)采用微带贴片天线;

每条波束赋形馈电网络(2)的前 n_1 个输出端分别与 n_1 个辐射单元(1)一一通过缝隙耦合方式相连,其余 n_2 个输出端分别与相应辐射单元(1)一一通过微带线直接相连;定义靠近波束赋形馈电网络(2)输入端的 n_1 个输出端为前 n_1 个输出端, $n_1+n_2=n$;

各个波束赋形馈电网络(2)的输入端通过金属化过孔或利用缝隙耦合方式与校准网络(3)相连。

2. 一种权利要求1所述波束赋形相控阵天线系统的设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:确定辐射单元排布;

根据俯仰波束宽度结合赋形波束形状的要求,确定俯仰维的辐射单元数目 n 及俯仰维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{e1} ;

根据方位维的波束宽度和扫描范围内不出现栅瓣的要求,确定方位维的辐射单元数目 m 和方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} , d_{az} 满足以下条件:

$$d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

步骤二：在以上辐射单元初始间距约束条件下进行辐射单元设计，使其在阵列环境下满足波束宽度、驻波及隔离度要求；

步骤三：利用数值优化算法计算得到实现赋形波束形状所需的波束赋形馈电网络每个输出端的幅度相位加权值，定义为目标幅度相位加权值；

步骤四：根据步骤三中获得的目标幅度相位加权值确定波束赋形馈电网络的拓扑结构；

根据波束赋形馈电网络每个输出端的目标幅度相位加权值，确定每一个T型结功分器设计参数的初始值；波束赋形馈电网络各输出端之间的初始间距与俯仰维相对应的两个辐射单元初始间距相等；

步骤五：在步骤四的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真，得到波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值；

步骤六：将波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比，基于调整原则，对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和微带线长度进行调整；所述调整的原则为：如果相邻辐射单元之间相位差小于设定阈值，通过调整波束赋形馈电网络中相邻输出端的间距，同时调整对应辐射单元间距实现；如果相邻辐射单元之间相位差大于设定阈值，则在保持辐射单元间距不变的情况下，将微带线进行弯折；

步骤七：在步骤六的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真，得到波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值；将波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比，基于调整原则，对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和微带线长度进行调整；

步骤八：重复步骤七的操作，直到波束赋形馈电网络各输出幅度相位值与目标幅度相位加权值之间的偏差满足设定要求；

步骤九：将设计完成的波束赋形馈电网络输出端与相应辐射单元的输入端连接，组成 $n \times 1$ 的小规模波束赋形相控阵天线，其中 n 为俯仰维辐射单元数；

步骤十：将步骤九中优化得到的小规模波束赋形相控阵天线在方位维进行组阵，最终得到 $n \times m$ 的波束赋形相控阵天线系统，其中 m 为方位维辐射单元数。

3. 根据权利要求2所述的设计方法，其特征在于：步骤四中的T型结功分器设计参数包括T型结功分器各组成部分对应微带线参数，微带线参数包括微带线线宽和微带线线长。

4. 一种波束赋形相控阵天线系统，其特征在于：包括辐射单元阵列、波束赋形馈电网络阵列、校准网络(3)、校准T/R(4)、负载(5)和收发模块(6)；

所述辐射单元阵列与波束赋形馈电网络阵列设置在不同层；

所述校准网络(3)、校准T/R(4)和收发模块(6)设置在同一层，且与辐射单元阵列和波束赋形馈电网络阵列位于不同层；

所述辐射单元阵列为二维矩形阵列，包括 $n \times m$ 个辐射单元(1)；

所述波束赋形馈电网络阵列采用带状线形式，由 m 条波束赋形馈电网络(2)并联构成；每条波束赋形馈电网络(2)的一端作为输入端；每条波束赋形馈电网络(2)在远离其输入端的带状线上设有 $n/2$ 个T型结功分器， $n/2$ 个T型结功分器沿带状线长度方向排布，通过带状线

相互串联;T型结功分器的其中一个输出端作为波束赋形馈电网络(2)的输出端;

每条波束赋形馈电网络(2)共包括n个输出端,n个输出端分别与n个辐射单元(1)一一相连,组成1列俯仰线阵,共形成m列俯仰线阵,m列俯仰线阵依次线性排列,形成一维赋形、一维扫描的相控阵天线;在俯仰方向通过调整波束赋形馈电网络(2)各T型结功分器的设计参数、各输出端之间的间距以及带状线的长度实现所要求的天线赋形方向图,在方位方向通过相位扫描实现满足设定范围的波束覆盖;

所述校准网络(3)位于每条波束赋形馈电网络(2)输入端的下方,与每条波束赋形馈电网络(2)输入端相连;

所述校准T/R(4)连接在校准网络(3)一端,所述负载(5)连接在校准网络(3)的另一端;

所述收发模块(6)与各条波束赋形馈电网络(2)的输入端连接;方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} 满足波束扫描时不出现栅瓣的要求,如下式所示:

$$d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

其中, λ 是最高工作频率所对应的波长, θ 为最大扫描角;所述校准网络(3)位于每条波束赋形馈电网络(2)输入端下方的下层介质板中;所述辐射单元(1)采用微带贴片天线;

每条波束赋形馈电网络(2)的前n1个输出端分别与n1个辐射单元(1)一一通过缝隙耦合方式相连,其余n2个输出端分别与相应辐射单元(1)一一通过金属化过孔相连;定义靠近波束赋形馈电网络(2)输入端的n1个输出端为前n1个输出端;

各个波束赋形馈电网络(2)的输入端通过金属化过孔或利用缝隙耦合方式与校准网络(3)相连。

5.一种权利要求4所述波束赋形相控阵天线系统的设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:确定辐射单元排布;

根据俯仰波束宽度结合赋形波束形状的要求,确定俯仰维的辐射单元数目n及俯仰维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{e1} ;

根据方位维的波束宽度和扫描范围内不出现栅瓣的要求,确定方位维的辐射单元数目m和方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} , d_{az} 满足以下条件:

$$d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

步骤二:在以上辐射单元初始间距约束条件下进行辐射单元设计,使其在阵列环境下满足波束宽度、驻波及隔离度要求;

步骤三:利用数值优化算法计算得到实现赋形波束形状所需的波束赋形馈电网络每个输出端的幅度相位加权值,定义为目标幅度相位加权值;

步骤四:根据步骤三中获得的目標幅度相位加权值确定波束赋形馈电网络的拓扑结构;

根据波束赋形馈电网络每个输出端的目标幅度相位加权值,确定每一个T型结功分器设计参数的初始值;波束赋形馈电网络各输出端之间的初始间距与俯仰维相对应的两个辐射单元初始间距相等;

步骤五:在步骤四的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值;

步骤六:将波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和带状线长度进行调整;所述调整的原则为:如果相邻辐射单元之间相位差小于设定阈值,通过调整波束赋形馈电网络中相邻输出端的间距,同时调整对应辐射单元间距实现;如果相邻辐射单元之间相位差大于设定阈值,则在保持辐射单元间距不变的情况下,将带状线进行弯折;

步骤七:在步骤六的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值;将波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和带状线长度进行调整;

步骤八:重复步骤七的操作,直到波束赋形馈电网络各输出口幅度相位值与目标幅度相位加权值之间的偏差满足设定要求;

步骤九:将设计完成的波束赋形馈电网络输出端与相应辐射单元的输入端连接,组成 $n \times 1$ 的小规模波束赋形相控阵天线,其中 n 为俯仰维辐射单元数;

步骤十:将步骤九中优化得到的小规模波束赋形相控阵天线在方位维进行组阵,最终得到 $n \times m$ 的波束赋形相控阵天线系统,其中 m 为方位维辐射单元数。

6. 根据权利要求5所述的设计方法,其特征在于:步骤四中的T型结功分器设计参数包括T型结功分器各部分对应带状线参数,带状线参数包括带状线线宽和带状线线长。

一种波束赋形相控阵天线系统及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于天线技术领域,具体涉及一种波束赋形相控阵天线系统及其设计方法。

背景技术

[0002] 在雷达、通讯等众多应用领域中,有些场景需要在一个平面实现特殊形状的天线波束(如余割平方波束、宽波束等),而在另外一个平面进行波束扫描。同时要求射频部分的功能模块能够在一整张层压板中实现,在紧凑的空间内完成各射频模块的集成设计。由于在相位扫描这一维组阵时,对单元间距有着严格的限制,故要实现波束赋形这一维的结构尺寸就需要大大压缩,要求既能满足波束赋形的要求,还应满足相位扫描这一维的单元间距、阵中方向图及线阵之间隔离度的要求。

[0003] 现有波束赋形天线主要通过以下几种方式实现:

[0004] 第一种方式:波束赋形一维采用波导裂缝天线形式,利用缝隙的不同偏置或者倾角实现所要求的幅度加权值;利用缝隙间的不同间距实现所要求的天线赋形方向图。此方法的优点是不需要额外的功分移相单元,但是由于缝隙之间的耦合度较高,使得其设计难度较大,且波导形式剖面较高,也不易于与后端的射频部分集成设计,导致组阵后的面阵纵向尺寸加大。

[0005] 第二种方式:波束赋形一维采用并馈网络,如加权幅度的实现采用多级不等功分威尔金森网络级联,加权相位可利用带线的长短调节,此方法的优点是可以精确地控制网络输出的幅相值,阵列天线的赋形方向图与目标方向图吻合度高,缺点是网络体积往往较大,只能在与功分网络所在平面垂直的平面内进行组阵设计,而无法在同一平面内组阵,这大大增加了整个面阵的纵向尺寸。

[0006] 第三种方式是,波束赋形一维采用串馈微带贴片线阵形式,利用微带贴片天线的不同尺寸调节加权幅度,单元之间引入不等长的馈电线调节加权相位。此方法的优点是结构紧凑,不需要额外的波束赋形馈电网络,波束赋形线阵的宽度方向尺寸较小,可以满足波束扫描维组阵时对单元间距的限制要求。串馈微带贴片线阵多采用微带形式,易于与其他模块集成设计,缺点是贴片单元较难匹配,幅相控制不够精确,波束赋形方向图不理想。

[0007] 第四种方式:整个面阵均为离散辐射单元,每个辐射单元后接T/R单元,独立控制其幅度与相位加权值;此方法的优点是幅相控制灵活、精确,缺点是控制复杂、成本明显增加。

发明内容

[0008] 本发明的目的是解决现有技术方案存在的不能兼顾天线系统剖面低、易于其他模块集成设计、结构尺寸紧凑、波束赋形方向图效果好的难题,提供一种波束赋形相控阵天线系统及其设计方法。

[0009] 为实现上述目的,本发明采用了如下技术方案:

[0010] 一种波束赋形相控阵天线系统,其特殊之处在于:包括辐射单元阵列、波束赋形馈电网络阵列、校准网络、校准T/R、负载和收发模块;

[0011] 上述辐射单元阵列与波束赋形馈电网络阵列设置在同一层;

[0012] 上述校准网络、负载、校准T/R和收发模块设置在同一层,且与辐射单元阵列和波束赋形馈电网络阵列位于不同层;

[0013] 上述辐射单元阵列为二维矩形阵列,包括 $n \times m$ 个辐射单元,其中 n 和 m 均为大于1的整数;

[0014] 上述波束赋形馈电网络阵列采用微带线形式,由 m 条波束赋形馈电网络并联构成;每条波束赋形馈电网络的一端作为输入端;每条波束赋形馈电网络在远离其输入端的微带线上设有 n_2 个T型结功分器, n_2 个T型结功分器沿微带线长度方向排布,通过微带线相互串联;T型结功分器的其中一个输出端作为波束赋形馈电网络的输出端;其中 n_2 为小于 n 的整数;

[0015] 每条波束赋形馈电网络共包括 n 个输出端, n 个输出端分别与 n 个辐射单元一一相连,组成1列俯仰线阵,共形成 m 列俯仰线阵, m 列俯仰线阵依次线性排列,形成一维赋形、一维扫描的相控阵天线;在俯仰方向通过调整波束赋形馈电网络各T型结功分器的设计参数、各输出端之间的间距以及微带线的长度实现所要求的天线赋形方向图,在方位方向通过相位扫描实现满足设定范围的波束覆盖;

[0016] 上述校准网络位于每条波束赋形馈电网络输入端的下方,与每条波束赋形馈电网络输入端相连;

[0017] 上述校准T/R连接在校准网络一端,上述负载连接在校准网络的另一端;

[0018] 上述收发模块与各条波束赋形馈电网络的输入端连接。

[0019] 进一步地,方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} 满足波束扫描时不出现栅瓣的要求,如下式所示:

$$[0020] \quad d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

[0021] 其中, λ 是最高工作频率所对应的波长, θ 为最大扫描角。

[0022] 为了进一步优化天线结构尺寸,上述校准网络位于每条波束赋形馈电网络输入端下方的下层介质板中;

[0023] 上述辐射单元采用微带贴片天线;

[0024] 每条波束赋形馈电网络的前 n_1 个输出端分别与 n_1 个辐射单元一一通过缝隙耦合方式相连,其余 n_2 个输出端分别与相应辐射单元一一通过微带线直接相连;定义靠近波束赋形馈电网络输入端的 n_1 个输出端为前 n_1 个输出端, $n_1+n_2=n$;

[0025] 各个波束赋形馈电网络的输入端通过金属化过孔或利用缝隙耦合方式与校准网络相连。

[0026] 本发明还提供一种上述波束赋形相控阵天线系统设计方法,其特殊之处在于,包括以下步骤:

[0027] 步骤一:确定辐射单元排布;

[0028] 根据俯仰波束宽度结合赋形波束形状的要求,确定俯仰维的辐射单元数目 n 及俯仰维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{e1} ;

[0029] 根据方位维的波束宽度和扫描范围内不出现栅瓣的要求,确定方位维的辐射单元数目 m 和方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} , d_{az} 满足以下条件:

$$[0030] \quad d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

[0031] 步骤二:在以上辐射单元初始间距约束条件下进行辐射单元设计,使其在阵列环境下满足波束宽度、驻波及隔离度要求;

[0032] 步骤三:利用数值优化算法计算得到实现赋形波束形状所需的波束赋形馈电网络每个输出端的幅度相位加权值,定义为目标幅度相位加权值;

[0033] 步骤四:根据步骤三中获得的目标幅度相位加权值确定波束赋形馈电网络的拓扑结构;

[0034] 根据波束赋形馈电网络每个输出端的目标幅度相位加权值,确定每一个T型结功分器设计参数的初始值;波束赋形馈电网络各输出端之间的初始间距与俯仰维相对应的两个辐射单元初始间距相等;

[0035] 步骤五:在步骤四的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值;

[0036] 步骤六:将波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和微带线长度进行调整;上述调整的原则为:如果相邻辐射单元之间相位差小于设定阈值,通过调整波束赋形馈电网络中相邻输出端的间距,同时调整对应辐射单元间距实现;如果相邻辐射单元之间相位差大于设定阈值,则在保持辐射单元间距不变的情况下,将微带线进行弯折;

[0037] 步骤七:在步骤六的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值;将波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和微带线长度进行调整;

[0038] 步骤八:重复步骤七的操作,直到波束赋形馈电网络各输出口幅度相位值与目标幅度相位加权值之间的偏差满足设定要求;

[0039] 步骤九:将设计完成的波束赋形馈电网络输出端与相应辐射单元的输入端连接,组成 n (俯仰维) $\times 1$ (方位维)的小规模波束赋形相控阵天线;

[0040] 步骤十:将步骤九中优化得到的小规模波束赋形相控阵天线在方位维进行组阵,最终得到 n (俯仰维) $\times m$ (方位维)的波束赋形相控阵天线系统。

[0041] 进一步地,步骤四中的T型结功分器设计参数包括T型结功分器各组成部分对应微带线参数,微带线参数包括微带线线宽和微带线线长。

[0042] 本发明还提供另一种波束赋形相控阵天线系统,其特殊之处在于:包括辐射单元阵列、波束赋形馈电网络阵列、校准网络、校准T/R、负载和收发模块;

[0043] 上述辐射单元阵列与波束赋形馈电网络阵列设置在不同层;

[0044] 上述校准网络、校准T/R和收发模块设置在同一层,且与辐射单元阵列和波束赋形馈电网络阵列位于不同层;

[0045] 上述辐射单元阵列为二维矩形阵列,包括 $n \times m$ 个辐射单元;

[0046] 上述波束赋形馈电网络阵列采用带状线形式,由 m 条波束赋形馈电网络并联构成;

每条波束赋形馈电网络的一端作为输入端；每条波束赋形馈电网络在远离其输入端的带状线上设有n2个T型结功分器，n2个T型结功分器沿带状线长度方向排布，通过带状线相互串联；T型结功分器的其中一个输出端作为波束赋形馈电网络的输出端；

[0047] 每条波束赋形馈电网络共包括n个输出端，n个输出端分别与n个辐射单元一一相连，组成1列俯仰线阵，共形成m列俯仰线阵，m列俯仰线阵依次线性排列，形成一维赋形、一维扫描的相控阵天线；在俯仰方向通过调整波束赋形馈电网络各T型结功分器的设计参数、各输出端之间的间距以及带状线的长度实现所要求的天线赋形方向图，在方位方向通过相位扫描实现满足设定范围的波束覆盖；

[0048] 上述校准网络位于每条波束赋形馈电网络输入端的下方，与每条波束赋形馈电网络输入端相连；

[0049] 上述校准T/R连接在校准网络一端，上述负载连接在校准网络的另一端；

[0050] 上述收发模块与各条波束赋形馈电网络的输入端连接。

[0051] 进一步地，上述天线中，方位维相邻两个辐射单元的初始间距d_{az}满足波束扫描时不出现栅瓣的要求，如下式所示：

$$[0052] \quad d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

[0053] 其中，λ是最高工作频率所对应的波长，θ为最大扫描角。

[0054] 进一步地，上述校准网络位于每条波束赋形馈电网络输入端下方的下层介质板中；上述辐射单元采用微带贴片天线；每条波束赋形馈电网络的前n1个输出端分别与n1个辐射单元一一通过缝隙耦合方式相连，其余n2个输出端分别与相应辐射单元一一通过金属化过孔相连；定义靠近波束赋形馈电网络输入端的n1个输出端为前n1个输出端；

[0055] 各个波束赋形馈电网络的输入端通过金属化过孔或利用缝隙耦合方式与校准网络相连。

[0056] 本发明还提供一种上述波束赋形相控阵天线系统设计方法，其特殊之处在于，包括以下步骤：

[0057] 步骤一：确定辐射单元排布；

[0058] 根据俯仰波束宽度结合赋形波束形状的要求，确定俯仰维的辐射单元数目n及俯仰维相邻两个辐射单元的初始间距d_{e1}；

[0059] 根据方位维的波束宽度和扫描范围内不出现栅瓣的要求，确定方位维的辐射单元数目m和方位维相邻两个辐射单元的初始间距d_{az}，d_{az}满足以下条件：

$$[0060] \quad d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

[0061] 步骤二：在以上辐射单元初始间距约束条件下进行辐射单元阵列设计，使其在阵列环境下满足波束宽度、驻波及隔离度要求；

[0062] 步骤三：利用数值优化算法计算得到实现赋形波束形状所需的波束赋形馈电网络每个输出端的幅度相位加权值，定义为目标幅度相位加权值；

[0063] 步骤四：根据步骤三中获得的目标幅度相位加权值确定波束赋形馈电网络的拓扑结构；

[0064] 根据波束赋形馈电网络每个输出端的目标幅度相位加权值，确定每一个T型结功

分器设计参数的初始值;波束赋形馈电网络各输出端之间的初始间距与俯仰维相对应的两个辐射单元初始间距相等;

[0065] 步骤五:在步骤四的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值;

[0066] 步骤六:将波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和带状线长度进行调整;上述调整的原则为;如果相邻辐射单元之间相位差小于设定阈值,通过调整波束赋形馈电网络中相邻输出端的间距,同时调整对应辐射单元间距实现;如果相邻辐射单元之间相位差大于设定阈值,则在保持辐射单元间距不变的情况下,将带状线进行弯折;

[0067] 步骤七:在步骤六的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值;将波束赋形馈电网络各输出端的幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,基于调整原则,对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和带状线长度进行调整;

[0068] 步骤八:重复步骤七的操作,直到波束赋形馈电网络各输出幅度相位值与目标幅度相位加权值之间的偏差满足设定要求;

[0069] 步骤九:将设计完成的波束赋形馈电网络输出端与相应辐射单元的输入端连接,组成 n (俯仰维) $\times 1$ (方位维)的小规模波束赋形相控阵天线;

[0070] 步骤十:将步骤九中优化得到的小规模波束赋形相控阵天线在方位维进行组阵最终得到 n (俯仰维) $\times m$ (方位维)的波束赋形相控阵天线系统。

[0071] 进一步地,步骤四中的T型结功分器设计参数包括T型结功分器各部分对应带状线参数,带状线参数包括带状线线宽和带状线线长。

[0072] 与现有技术相比,本发明具有的有益技术效果如下:

[0073] 1. 本发明波束赋形相控阵天线系统采用串并馈结合的网络形式,天线与波束赋形馈电网络设计在同一层或不同层,具有结构尺寸紧凑和较低剖面的优势,且便于与其他模块集成化设计,同时通过调整辐射单元间距以及馈电线参数,使波束赋形馈电网络实际输出的幅度相位值与目标幅度相位加权值高度吻合,最终实现比较理想的赋形方向图效果。

[0074] 2. 本发明波束赋形相控阵天线系统可以采用单层微带板实现波束赋形维的单个线阵设计和相位扫描维的组阵设计,可以在一个平面实现比较理想的赋形方向图,而在另一个平面实现相位扫描。

附图说明

[0075] 图1为实施例波束赋形相控阵天线布局图;

[0076] 图2a为实施例辐射单元间距不相等情况下的相位调节示意图;

[0077] 图2b为实施例辐射单元间距相等情况下的相位调节示意图;

[0078] 图3为实施例全阵面仿真时波束赋形方向图与目标方向图的对比示意图。

[0079] 图中附图标记为:1、辐射单元;2、波束赋形馈电网络;3、校准网络;4、校准T/R;5、负载;6、收发模块。

具体实施方式

[0080] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。本领域技术人员应当理解的是,这些实施方式仅仅用来解释本发明的技术原理,目的并不是用来限制本发明的保护范围。

[0081] 如图1所示,本实施例波束赋形相控阵天线系统包括辐射单元阵列、波束赋形馈电网络阵列、校准网络3、校准T/R 4、负载5和收发模块6。

[0082] 其中辐射单元阵列由多个辐射单元1构成,选择微带贴片天线,采用插入式馈电,多个辐射单元1间隔排布成 m (方位维) $\times n$ (俯仰维)的二维阵列。波束赋形馈电网络阵列与辐射单元阵列设置在同一层,采用微带线形式,由 m 条波束赋形馈电网络2并联构成;每条波束赋形馈电网络2的一端作为输入端;每条波束赋形馈电网络2在远离其输入端的微带线上设有 n_2 个T型结功分器, n_2 个T型结功分器沿微带线长度方向排布,通过微带线相互串联; n_2 个T型结功分器的其中一个输出端作为波束赋形馈电网络2的 n_2 个输出端;每条波束赋形馈电网络2共包括 n 个输出端, n 个输出端分别与 n 个辐射单元1一一相连,组成1列俯仰线阵,共形成 m 个俯仰线阵, m 个俯仰线阵依次线性排列。从图中可以看出,本实施例中每条波束赋形馈电网络的前几个输出端分别与相应辐射单元一一通过缝隙耦合方式相连,其余 n_2 个输出端(T型结功分器的其中一个输出端)分别与相应辐射单元一一通过微带线直接相连;定义靠近波束赋形馈电网络输入端的输出端为前几个输出端。

[0083] 在其他实施例中波束赋形馈电网络阵列也可以采用带状线形式,与辐射单元阵列设置在不同层,每条波束赋形馈电网络在远离其输入端的带状线上设有 n_2 个T型结功分器, n_2 个T型结功分器沿带状线长度方向排布,通过带状线相互串联;每条波束赋形馈电网络的前几个输出端分别与相应辐射单元一一通过缝隙耦合方式相连,其余 n_2 个输出端(T型结功分器的其中一个输出端)分别与相应辐射单元一一通过金属化过孔相连。

[0084] 在俯仰方向,通过调整波束赋形馈电网络2各T型结功分器的设计参数及波束赋形馈电网络2各输出端口间距离及微带线或带状线长度,以满足所要求的幅度相位加权值,实现所要求的天线赋形方向图;在方位方向通过相位扫描满足设定范围的波束覆盖;利用此种方法可以使波束赋形线阵在需要波束扫描这一维方向的尺寸大大压缩,满足组阵时对辐射单元间距的限制要求。

[0085] 校准网络3、校准T/R4、负载5和收发模块6设置在同一层,且与波束赋形馈电网络2和辐射单元1位于不同层;其中校准网络3位于波束赋形馈电网络2输入端下方的下层介质板中,利用缝隙耦合方式将各个波束赋形馈电网络2的部分能量耦合至校准网络3的传输线路中,各个波束赋形馈电网络2的输入端也可以通过金属化过孔与校准网络3相连,避免了模块间的连接电缆的大量使用,大大降低了整个雷达或者通信系统的剖面尺寸和整体结构尺寸,提升其竞争力。校准网络3一端接校准T/R4,一端连接负载5;收发模块6的射频输出口与各个俯仰线阵输入端连接。

[0086] 本发明实施例中波束赋形相控阵天线系统的详细设计步骤叙述如下:

[0087] 步骤一:首先根据俯仰波束宽度结合赋形波束形状的要求,确定俯仰维的辐射单元数目 n 及俯仰维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{el} ;

[0088] 其次根据方位维的波束宽度和扫描范围内不出现栅瓣的要求,确定方位维的辐射单元数目 m 和方位维相邻两个辐射单元的初始间距 d_{az} 。方位维的辐射单元之间的间距 d_{az}

az应满足以下条件:

$$[0089] \quad d_{az} < \frac{\lambda}{1 + \sin\theta}$$

[0090] 其中, λ 是最高工作频率所对应的波长, θ 为最大扫描角。本实施例中 $m=16, n=12, d_{e1}$ 约等于0.65倍的中心频率对应波长, d_{az} 约等于0.51倍的中心频率对应波长。为了减少俯仰线阵之间的耦合对俯仰赋形波束的影响,俯仰线阵之间还应满足一定的隔离度要求,本实施例中俯仰线阵之间隔离度设计满足大于20dB的要求。

[0091] 步骤二:在以上单元间距约束条件下进行辐射单元设计,使其在阵列环境下满足波束宽度、驻波及隔离度要求。

[0092] 步骤三:利用数值优化算法计算得到实现赋形波束形状所需的波束赋形馈电网络每个输出端的幅度相位加权值,定义为目标幅度相位加权值;

[0093] 本实施例中需要实现余割平方赋形波束,采用遗传算法,选择幅度相位两个维度同时优化。经过多轮迭代优化,得到满意的幅度相位加权值即目标幅度相位加权值。应该注意的是,在本实施例中,幅度相位加权值的优化和选择应兼顾波束赋形馈电网络线宽加工限制要求和串并馈网络相位分布特点。

[0094] 步骤四:根据步骤三中获得的目标幅度相位加权值确定波束赋形馈电网络的拓扑结构;

[0095] 本实施例中波束赋形馈电网络采用串并馈结合的网络结构形式,选择端馈方式。为了满足要求的幅度分布趋势且避免导致的带线太细而无法加工问题。本实施例中前几个输出端(靠近输入端)采用缝隙耦合馈电方式。根据波束赋形馈电网络每个输出端要求的幅度相位加权值,可以得到波束赋形馈电网络中每个T型结功分器的功分比,由此计算每个T型结功分器各部分的阻抗值,在选择介质板介电常数和厚度条件下,进而确定每一个T型结功分器各组成部分对应微带线或带状线参数的初始值,包括线宽和线长参数。波束赋形馈电网络各输出端之间的初始间距与俯仰维相对应的两个辐射单元初始间距相等。

[0096] 步骤五:在步骤四的基础上对波束赋形馈电网络进行建模仿真,得到波束赋形馈电网络各输出端初始的幅度相位值。根据步骤三中要求的目标幅度相位加权值对波束赋形馈电网络各输出端之间的间距和微带线或带状线长度进行调整,调整的原则为:如果相邻辐射单元之间相位差小于设定阈值,可以通过调整相邻辐射单元间距不相等来实现,如图2a所示, $d_i \neq d_{i+1}$;如果相邻辐射单元之间相位差大于设定阈值,则在保持辐射单元间距不变的情况下,将微带线或带状线进行弯折设计,如图2b所示, $d_i = d_{i+1}$,弯折部分的形状不仅限于图中所示,具体根据网络所允许的空间尺寸决定。将波束赋形馈电网络各输出端幅度相位值与目标幅度相位加权值进行对比,对波束赋形馈电网络各设计参数进行不断调整优化,直到波束赋形馈电网络各输出端幅度相位值与目标幅度相位加权值之间的偏差满足:幅度偏差 $\leq 0.5\text{dB}$,相位偏差 $\leq 3^\circ$ 。

[0097] 步骤六:将设计完成的波束赋形馈电网络输出端与辐射单元的输入端连接,并组成1(方位维) \times 12(俯仰维)的小规模阵列,对阵中环境下俯仰波束赋形效果进行评估。

[0098] 步骤七:将步骤六中优化得到的波束赋形线阵在方位维进行组阵,阵列规模为16(方位维) \times 12(俯仰维),阵列建模如图1所示。

[0099] 设置形成方位面波束所需要的幅度相位加权值,验证完整赋形相控阵天线的波束

赋形效果和波束扫描性能,本实施例全阵列仿真时,实际波束赋形方向图与目标方向图的对比如图3所示。从图3可以看出,本发明天线实际输出的幅度相位值与目标幅度相位加权值高度吻合,最终实现比较理想的赋形方向图效果。

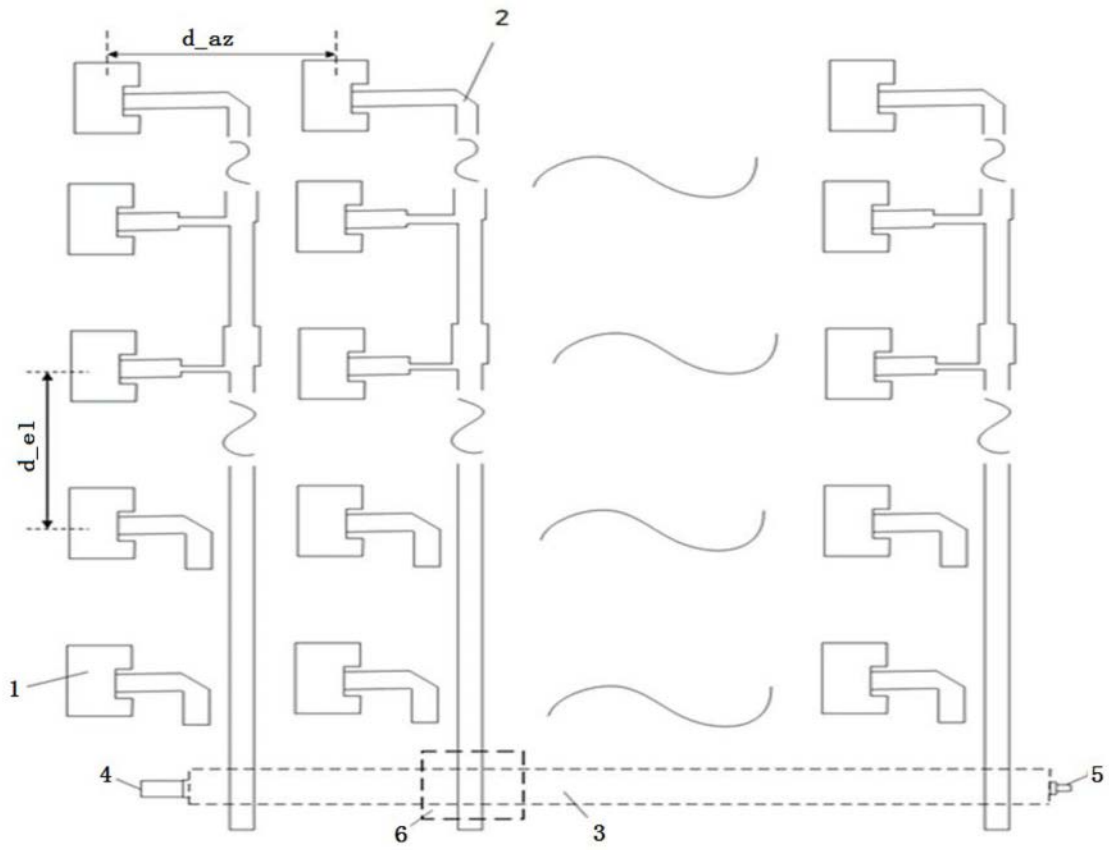


图1

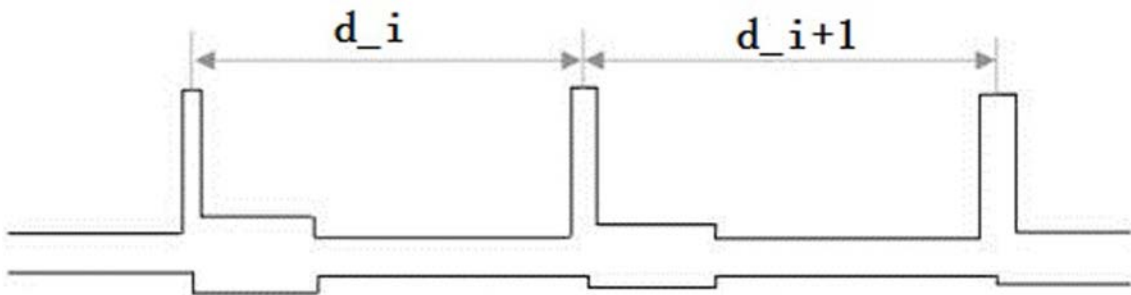


图2a

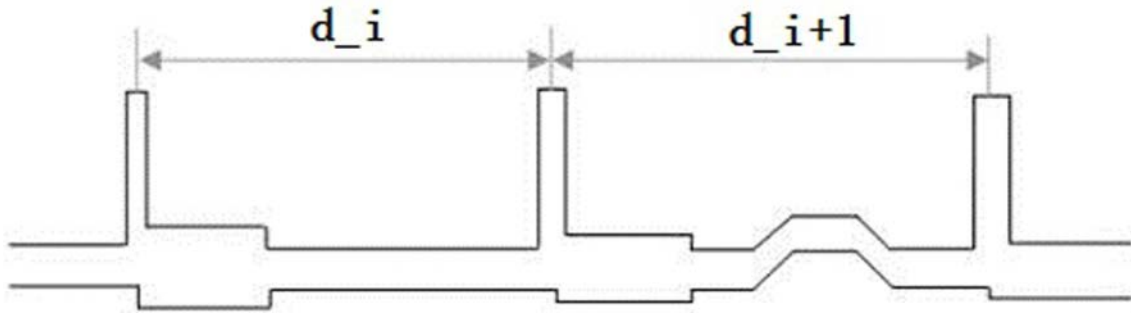


图2b

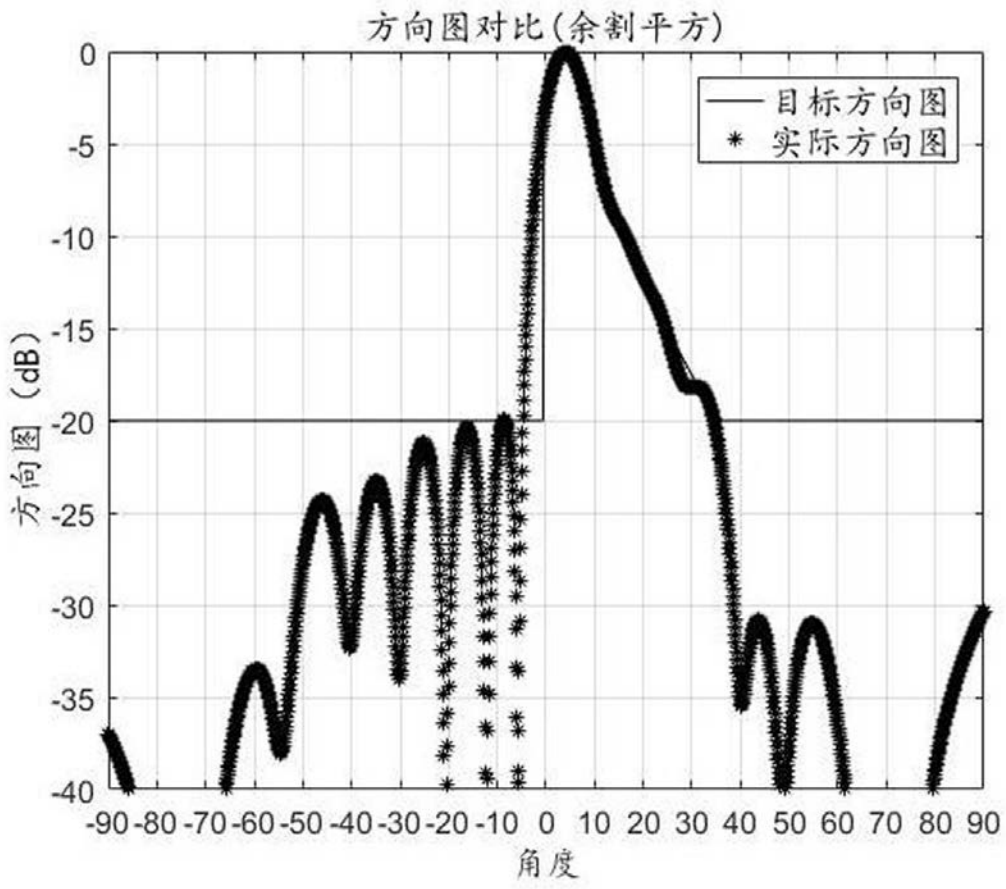


图3