(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102983401 B
(45)授权公告日 2015.04.15

(21)申请号 201210502291.5
(22)申请日 2012.11.30
(73)专利权人 南京理工大学
地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号
(72)发明人 吴文 崔兰 方大纲
(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心 32203
代理人 朱显国
(51)Int.Cl.
H01Q 1/52(2006.01)
H01Q 3/34(2006.01)
H01Q 21/00(2006.01)
H01Q 1/38(2006.01)
H01Q 1/48(2006.01)

(56)对比文件
CN 101888019 A,2010.11.17,
US 7999747 ,2011.08.16,
CN 202067897 U,2011.12.07,

审查员 郭艳芳

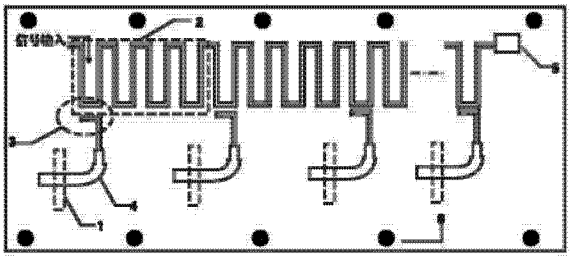
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线

(57)摘要

本发明一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉固定，其中，第一层平面介质基板包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构，功分器，传输线馈电结构，匹配负载，慢波蛇形线结构的末端连接到匹配负载，慢波蛇形线结构和功分器连接，传输线馈电结构和功分器连接，第三层平面介质基板为地板；本发明损耗低，副瓣低，增益高，且结构简单，便于实现。



CN 102983401 B

1. 一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，其特征在于：由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉（6）固定，其中，第一层平面介质基板（7）包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板（8）的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构（2），耦合功分器（3），传输线馈电结构（4），匹配负载（5），慢波蛇形线结构（2）的末端连接到匹配负载（5），慢波蛇形线结构（2）和耦合功分器（3）连接，传输线馈电结构（4）和耦合功分器（3）连接，第三层平面介质基板（9）为地板；第二层平面介质基板（8）上下表面对称布置多个耦合功分器（3），相邻的耦合功分器（3）之间的间距相等，每一个耦合功分器（3）与慢波蛇形线结构（2）之间的耦合间距各不相同。

2. 根据权利要求 1 所述的一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，其特征在于：所述的第一层平面介质基板（7）的上表面金属全部腐蚀，下表面金属刻蚀多个矩形辐射缝隙天线单元（1），所述的第二层平面介质基板（8）的上下表面对称布置，功分器为耦合功分器（3），慢波蛇形线结构（2）与耦合功分器（3）耦合连接。

3. 根据权利要求 2 所述的一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，其特征在于：所述的慢波蛇形线结构（2）的外轮廓为矩形。

低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线

技术领域

[0001] 本发明属于天线技术领域，特别是一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线。

背景技术

[0002] 随着现代雷达技术的不断发展，对于天线跟踪速度的要求日益提高，电扫描天线因其波速扫描时间极低，信号衰减小，运行性能好等优点已基本取代机械扫描天线。采用频率扫描实现波束扫描原理简单，馈电网络结构简单，成本相对较低。传统的频率扫描天线由作为相移单元的蛇形慢波波导结构和作为辐射单元的波导缝隙天线组成。由于波导损耗极低，因此可以实现较高增益的频率扫描天线阵列(请参见文献1：R. S. Elliot, “ Antenna theory and design, ”New York: Prentice-Hall, 1981)。然而，由于波导体积大，重量重，并且不能进行平面化设计，和其他器件难以集成，此类频率扫描天线无法满足日益发展的现代雷达通信要求。

[0003] 近年来，采用漏波技术以及左右手传输线技术的频率表扫描天线由于其低剖面、体积小、易于集成等优点引起了学者们的极大兴趣。然而，由于平面化电路的要求，这些用于频率扫描的漏波天线都共同存在一个问题，那就是损耗。由于采用平面印刷工艺，介质损耗的引入使得平面漏波天线的传输损耗比波导频扫天线要大很多，无法实现高增益的频扫阵列天线，且常常出现频带内增益起伏较大的现象。另外，此类漏波天线由于在设计时行波传输结构和辐射单元是一体的，所以在实现阵列的不同分布上存在困难，在进行波束扫描的同时较难满足低副瓣的要求(请参见文献2：Y. Dong and T. Itoh, “ Composite right/left-handed substrate integrated waveguide and half mode substrate integrated waveguide leaky-wave structures, ”IEEE Trans. Antenna. Propag., vol. 59, no. 3, pp. 767-775, Mar. 2011)。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种损耗低，副瓣低，增益高，且结构简单，便于实现的低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线。

[0005] 实现本发明目的的技术解决方案为：

[0006] 一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉固定，其中，第一层平面介质基板包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构，功分器，传输线馈电结构，匹配负载，慢波蛇形线结构的末端连接到匹配负载，慢波蛇形线结构和功分器连接，功分器和传输线馈电结构连接，第三层平面介质基板为地板。

[0007] 本发明与现有技术相比，其显著优点：

[0008] (1)本发明天线采用基于双面悬置空气带状线的慢波蛇形线结构作为频率扫描天线的相移结构，由于采用空气作为该结构的传输媒质，其传输损耗相较于一般平面传输线

小很多，为天线实现高增益奠定了基础。同时，通过慢波线结构轮廓、折数、尺寸的适当选择和优化，使得移相传输结构的损耗进一步减小，且可满足不同的频带范围需要。

[0009] （2）本发明将慢波蛇形线结构、传输线馈电结构和天线辐射单元分开，互相不影响，可以方便的进行独立设计，同时可以实现很高的设计灵活性。首先，馈线的独立设计，可以很好的满足频率扫描天线的角度扫描范围、频带资源、传输损耗的各部分要求，通过对慢波蛇形线结构的优化设计进行折中选择，很容易满足设计的需求。其次，天线辐射单元的单独设计，可以使得其形式多样化，可以根据项目或产品的需要进行适当选择。

[0010] （3）本发明中慢波蛇形线结构以及传输线馈电结构和天线辐射单元分开，使得天线的幅度分布控制容易实现。通过调节功分器的能量分配，即可实现要求，获得想要的天线副瓣水平，实现低副瓣。此时，天线中的所有天线辐射单元尺寸是相同的，只需要调节功分器即可，方便且易实现。

[0011] （4）本发明同时满足了平面化，低损耗、低副瓣以及高增益的要求。

[0012] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

附图说明

[0013] 图 1 为本发明实施例 1 天线的整体结构俯视透视图。

[0014] 图 2 为本发明实施例 1 天线的立体结构的正视图。

[0015] 图 3 为本发明实施例 1 天线的第一层平面介质基板的俯视图。

[0016] 图 4 为本发明实施例 1 天线的第二层平面介质基板的俯视图。

[0017] 图 5 为本发明实施例 1 天线的 S 参数仿真与实测图。

[0018] 图 6 为本发明实施例 1 天线的增益仿真、实测结果和效率图。

[0019] 图 7 为本发明实施例 2 天线的整体结构俯视透视图。

[0020] 图 8 为本发明实施例 2 天线的立体结构的正视图。

[0021] 图 9 为本发明实施例 2 天线的第一层平面介质基板的俯视图。

[0022] 图 10 为本发明实施例 2 天线的第二层平面介质基板的俯视图。

[0023] 图 11 为本发明实施例 3 天线的整体结构俯视透视图。

[0024] 图 12 为本发明实施例 3 天线的立体结构的正视图。

[0025] 图 13 为本发明实施例 3 天线的第一层平面介质基板的俯视图。

[0026] 图 14 为本发明实施例 3 天线的第二层平面介质基板的俯视图。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图，对本发明技术方案进行详细说明，但是本发明的保护范围不局限于所述实施例。

[0028] 实施例 1：

[0029] 一种低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线，由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉 6 固定，其中，第一层平面介质基板 7 包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板 8 的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构 2，耦合功分器 3，传输线馈电结构 4，匹配负载 5，慢波蛇形线结构 2 的末端连接到匹配负载 5，慢波蛇形线结构 2 和耦合功分器 3 耦合连接，传

输线馈电结构 4 和耦合功分器 3 连接，第三层平面介质基板 9 为地板。

[0030] 图 1 给出本发明天线的整体结构俯视图(透视图)，图 2 给出其立体结构的正视图。图中实线所示结构为印刷在介质基板上的金属图形，虚线所示为刻蚀掉金属的部分，黑色填充部分为支撑该天线结构使用的塑料螺钉 6。从图中可以看到，本专利所述的天线由三层平面介质基板组成，位于中间的第二层平面介质基板 8 的上、下表面对称印刷了慢波蛇形线结构 2 作为频率扫描天线的移相单元，和作为功率分配的耦合功分器 3 以及对矩形辐射缝隙天线单元 1 进行馈电的传输线馈电结构 4，与第二层平面介质基板 8 分别相距同样距离的第一层平面介质基板 7 的底层金属表面和第三层平面介质基板 9 的上金属表面共同作为该天线的接地面。此三层结构共同形成双面悬置空气带状线，为了激励起双面悬置空气带状线的偶模，在慢波蛇形线结构 2 上制作了多个金属化通孔，以此连接第二层平面介质基板 8 的上下金属表面上对称布置的所有图形，使得分布在上下金属表面的相同图形获得同等的电压。图中高度为 Hc 的部分为空气，是此双面悬置空气带状线的传输媒质，由于此时结构的电场绝大部分都分布在上下两层空气中，因而能量在损耗极低的空气中进行传输，用以达到减小天线结构损耗的目的。在第一层平面介质基板 7 的下金属表面刻蚀矩形辐射缝隙天线单元 1，作为辐射口径。此时，低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线形成。

[0031] 图 3 给出所发明天线的第一层平面介质基板，其中虚线矩形结构则是刻蚀于第一层平面介质基板 7 的下金属表面上的多个矩形辐射缝隙天线单元 1。该平面介质基板的上金属表面全部腐蚀。

[0032] 图 4 为第二层平面介质基板 8 的上下表面对称印刷的相同的矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2、耦合功分器 3 以及传输线馈电结构 4。相邻的耦合功分器 3 之间的间距是相等的，以此保证各矩形辐射缝隙天线单元 1 之间的空间相位差相同。此距离的选取必须避免天线扫描过程中栅瓣的形成。两相邻单元之间的慢波蛇形线结构 2 尺寸的确定是根据所设计的频率扫描天线的工作频率、频带资源、频率扫描角度范围以及天线设计中可接受的传输损耗而共同折中决定的。其中矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2 的折数和横向尺寸对其自身的传输损耗影响很大，需要进行适当选择。图中每个耦合功分器 3 的耦合间距是不同的，用以分配不同的能量到各矩形辐射缝隙天线单元 1，从而实现需要的天线幅度分布，达到设计的副瓣要求。从耦合功分器 3 获得的能量经过四分之波长阻抗变换器与矩形辐射缝隙天线单元 1 的传输线馈电结构 4 相连。

[0033] 制作的实施例设计中心频率为 9.5 GHz，设计频带范围为 8.8 GHz-10.6 GHz，扫描范围为 -35° ~ +45°，要求副瓣为 20dB。根据设计要求，采用 25dB 的泰勒分布进行幅度分布设计，采用介电常数为 2.2，损耗角正切为 0.0009，厚度为 0.254 mm 的介质基板 Rogers 5880 作为本发明天线中的第二层平面介质基板 8，介电常数为 3.55，损耗角正切为 0.0027，厚度为 0.508 mm 的介质基板 Rogers 4003 作为第一层平面介质基板 7 和第三层平面介质基板 8。

[0034] 所制作天线由 16 单元组成。各天线单元间距选取为 14.4mm，相当于中心频率 9.5GHz 处的 0.46 倍波长，用以避免扫描过程中栅瓣的出现。作为移相的矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2 采用具有三个弯折的蛇形线单元(此处弯折数的计算为慢波蛇形线结构中从左至右出现的完整的“几”字形的个数)，其传输损耗只有 0.1dB，根据该结构的等效色散曲线图可以很容易的得到它的波束扫描范围。通过合理设计各耦合功分器 3 的耦合尺寸，可以

很好的实现所需的幅度分布。

[0035] 图5所示为所述天线的实测波束扫描方向图，该天线在8.8-10.6 GHz的频带范围内波束由-31.5°扫描至+46°，频率扫描灵敏度为43.05°/GHz。在整个频带范围内，方向图副瓣均在20dB左右，除了在频带边缘的个别频点。图6为该天线的仿真与测试增益结果，天线的仿真辐射效率也能在图中观察到。在1.8GHz的频带范围内，天线增益起伏较小，且最大增益值达到了15.5dBi，天线的最大辐射效率也达到了85%。这都高于一般的印刷工艺形式的频率扫描天线。

[0036] 本实施例中作为移相单元的慢波蛇形线结构2采用矩形轮廓、弯折数为三的蛇形线结构，但并不限于此，轮廓(如三角形、菱形)、弯折次数不受限制，只需要满足设计需要的频带资源、扫频范围、适当的传输损耗即可，并且慢波蛇形线结构的纵向尺寸必须保证在扫描时不会出现栅瓣。

[0037] 另外，本实施例中采用耦合功分器3进行功率分配，将能量分配给矩形辐射缝隙天线单元1。在设计中，用于功率分配时的耦合功分器并不是唯一的选择，也可以采用直接型功分器，用带线直接与慢波蛇形线结构2连接，将能量分配出来。

[0038] 实施例2：

[0039] 由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉6固定，其中，第一层平面介质基板7包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板8的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构2，耦合功分器3，传输线馈电结构4，匹配负载5，慢波蛇形线结构2的末端连接到匹配负载5，慢波蛇形线结构2和耦合功分器3耦合连接，传输线馈电结构4和耦合功分器3连接，第三层平面介质基板9为地板。

[0040] 图7给出本发明天线的整体结构俯视图(透视图)，图8给出其立体结构的正视图。图中实线所示结构为印刷在介质基板上的金属图形，虚线所示为刻蚀掉金属的部分，黑色填充部分为支撑该天线结构使用的塑料螺钉6。从图中可以看到，本例所述的天线由三层平面介质基板组成，位于中间的第二层平面介质基板8的上、下表面对称印刷了慢波蛇形线结构2作为频率扫描天线的移相单元，和作为功率分配的耦合功分器3以及对圆环辐射缝隙天线单元10进行馈电的传输线馈电结构4，与第二层平面介质基板8分别相距同样距离的第一层平面介质基板7的底层金属表面和第三层平面介质基板9的上金属表面共同作为该天线的接地面。此三层结构共同形成双面悬置空气带状线，为了激励起双面悬置空气带状线的偶模，在慢波蛇形线结构2上制作了多个金属化通孔，以此连接第二层平面介质基板8的上下金属表面上对称布置的所有图形，使得分布在上下金属表面的相同图形获得同等的电压。图中高度为Hc的部分为空气，是此双面悬置空气带状线的传输媒质，由于此时结构的电场绝大部分都分布在上下两层空气中，因而能量在损耗极低的空气中进行传输，用以达到减小天线结构损耗的目的。在第一层平面介质基板7的下金属表面刻蚀圆环辐射缝隙天线单元10，作为辐射口径。此时，低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线形成。

[0041] 图9给出所发明天线的第一层平面介质基板7，其中虚线圆环结构则是刻蚀于第一层平面介质基板7的下金属表面上的多个圆环辐射缝隙天线单元10。该平面介质基板的上金属表面全部腐蚀。

[0042] 图10为第二层平面介质基板8的上下表面对称印刷的相同的矩形轮廓的慢波蛇

形线结构 2、耦合功分器 3 以及传输线馈电结构 4。相邻的耦合功分器 3 之间的间距是相等的，以此保证各圆环辐射缝隙天线单元 10 之间的空间相位差相同。此距离的选取必须避免天线扫描过程中栅瓣的形成。两相邻单元之间的慢波蛇形线结构 2 尺寸的确定是根据所设计的频率扫描天线的工作频率、频带资源、频率扫描角度范围以及天线设计中可接受的传输损耗而共同折中决定的。其中矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2 的折数和横向尺寸对其自身的传输损耗影响很大，需要进行适当选择。图中每个耦合功分器 3 的耦合间距是不同的，用以分配不同的能量到各圆环辐射缝隙天线单元 10，从而实现需要的天线幅度分布，达到设计的副瓣要求。从耦合功分器 3 获得的能量经过四分之波长阻抗变换器与传输线馈电结构 4 相连，再由传输线馈电结构 4 将能量馈给圆环辐射缝隙天线单元 10。

[0043] 本实施例中天线单元为圆环辐射缝隙天线单元 10，圆环辐射缝隙天线单元 10 由于具有低仰角的特点在移动通信中受到关注。但是辐射缝隙天线单元的具体形状在本发明中是不受限制的，根据设计者对天线方向图和性能的需求，可以进行合理的改变和设计。例如在具体实施例 1 中所采用的是矩形缝隙，而在实施例 2 中则采用圆环缝隙，还可以采用方环缝隙，十字缝隙以及缝隙对等；当然，此时传输线馈电结构 4 需要进行相应的改变。

[0044] 实施例 3：

[0045] 由三层平面介质基板组成，三层平面介质基板重叠布置，并且每层平面介质基板之间有间隔，三层平面介质基板通过塑料螺钉 6 固定，其中，第一层平面介质基板 7 包括天线辐射单元和地板，第二层平面介质基板 8 的上下表面对称布置，包括慢波蛇形线结构 2，耦合功分器 3，传输线馈电结构 4，匹配负载 5，慢波蛇形线结构 2 的末端连接到匹配负载 5，慢波蛇形线结构 2 和耦合功分器 3 耦合连接，传输线馈电结构 4 和耦合功分器）连接，第三层平面介质基板 9 为地板。

[0046] 图 11 给出本发明天线的整体结构俯视图（透视图），图 12 给出其立体结构的正视图。图中实线所示结构为印刷在介质基板上的金属图形，虚线所示为刻蚀掉金属的部分，黑色填充部分为支撑该天线结构使用的塑料螺钉6。从图中可以看到，本例所述的天线由三层平面介质基板组成，位于中间的第二层平面介质基板 8 的上、下表面对称印刷了慢波蛇形线结构 2 作为频率扫描天线的移相单元，和作为功率分配的耦合功分器 3 以及对矩形贴片天线单元 12 进行馈电的传输线馈电结构 4。与第二层平面介质基板 8 分别相距同样距离的第一层平面介质基板 7 的底层金属表面和第三层平面介质基板 9 的上金属表面共同作为该天线的接地面。此三层结构共同形成双面悬置空气带状线，为了激励起双面悬置空气带状线的偶模，在慢波蛇形线结构 2 上制作了多个金属化通孔，以此连接第二层平面介质基板 8 的上下金属表面上对称布置的所有图形，使得分布在上下金属表面的相同图形获得同等的电压。图中高度为 Hc 的部分为空气，是此双面悬置空气带状线的传输媒质，由于此时结构的电场绝大部分都分布在上下两层空气中，因而能量在损耗极低的空气中进行传输，用以到达减小天线结构损耗的目的。在第一层平面介质基板 7 的下金属表面刻蚀缝隙 11 将能量通过缝隙 11 耦合到矩形贴片天线单元 12，作为辐射口径。此时，低耗低副瓣高增益平面频率扫描天线形成。

[0047] 图 13 给出所发明天线的第一层平面介质基板 7，其中虚线矩形结构则是刻蚀于第一层平面介质基板 7 的下金属表面上的多个缝隙 11，实线矩形结构为印刷在第一层平面介质基板 7 的上表面的矩形贴片天线单元 12，上表面的剩余部分全部腐蚀掉。

[0048] 图 14 为第二层平面介质基板 8 的上下表面对称印刷的相同的矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2、耦合功分器 3 以及传输线馈电结构 4。相邻的耦合功分器 3 之间的间距是相等的，以此保证各矩形贴片天线单元 12 之间的空间相位差相同。此距离的选取必须避免天线扫描过程中栅瓣的形成。两相邻单元之间的慢波蛇形线结构 2 尺寸的确定是根据所设计的频率扫描天线的工作频率、频带资源、频率扫描角度范围以及天线设计中可接受的传输损耗而共同折中决定的。其中矩形轮廓的慢波蛇形线结构 2 的折数和横向尺寸对其自身的传输损耗影响很大，需要进行适当选择。图中每个耦合功分器 3 的耦合间距是不同的，用以分配不同的能量到各矩形贴片天线单元 12，从而实现需要的天线幅度分布，达到设计的副瓣要求。从耦合功分器 3 获得的能量经过四分之波长阻抗变换器传输到传输线馈电结构 4。传输线馈电结构 4 将能量通过缝隙 11 耦合馈给矩形贴片天线单元 12。这种天线馈电方式可以获得较大的带宽。

[0049] 本实施例中作为天线辐射单元的是矩形贴片天线单元 12，但其形状并不是限制的。可以是矩形、圆形等各种贴片，甚至可以是环形；若想要得到圆极化的扫描天线，还可以采用角馈形式的贴片天线单元。需要注意的是，所使用的贴片天线单元的带宽必须满足用于扫描的频带资源。

[0050] 最后所应说明的是，以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照特定的优选实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，随本发明的技术方案进行修改或者等同替换，都在不脱离所附权利要求定义的本发明的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

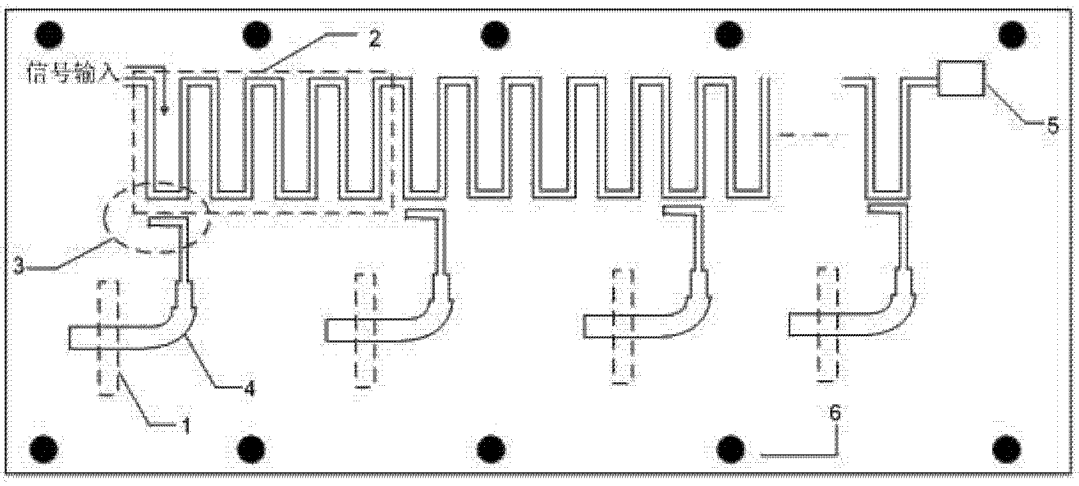


图 1

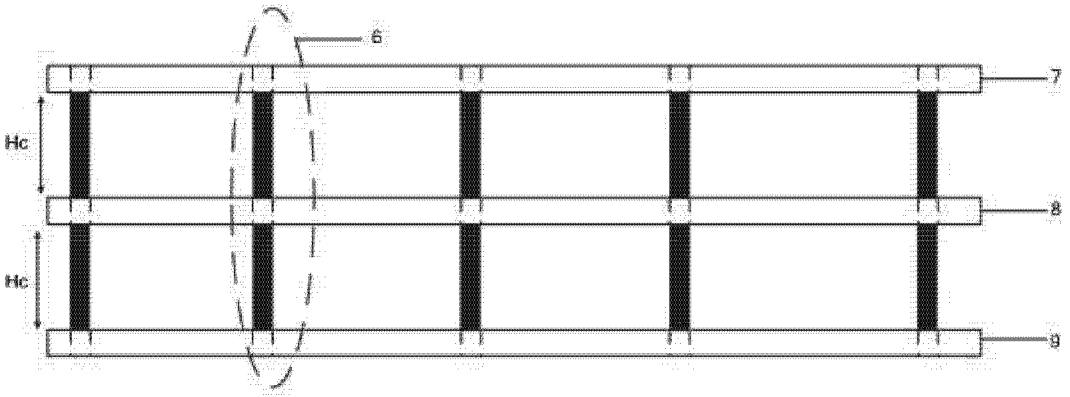


图 2

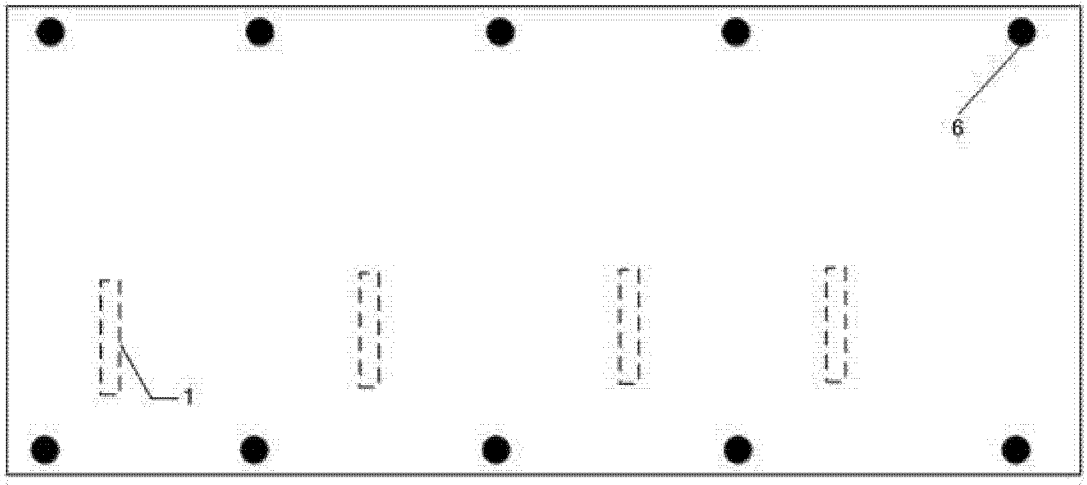


图 3

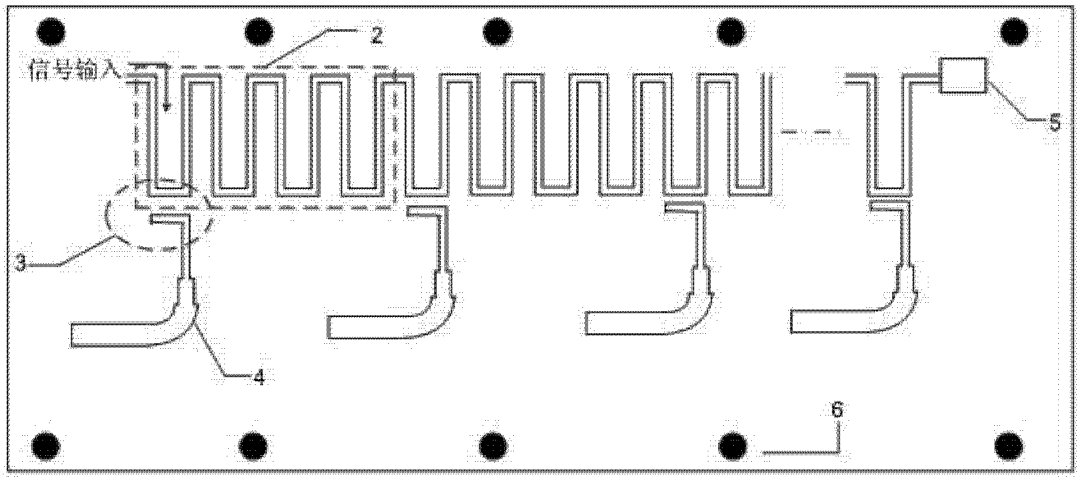


图 4

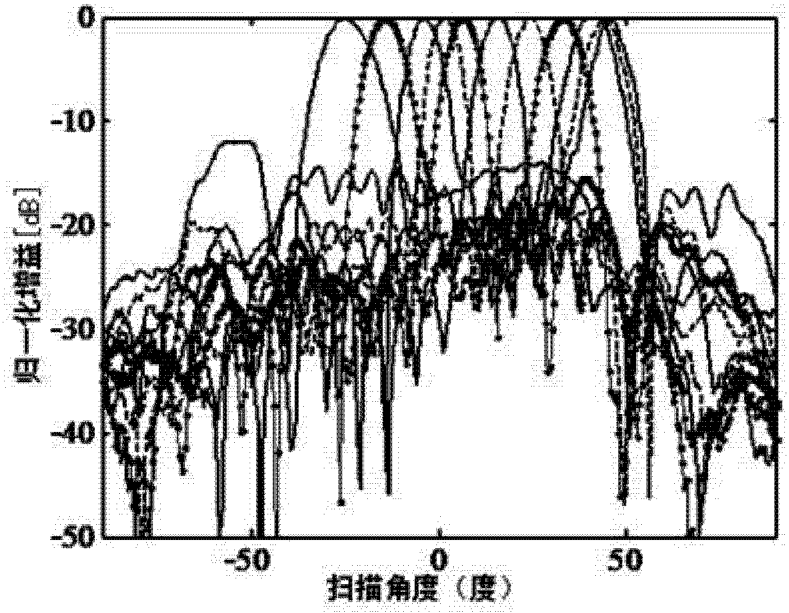


图 5

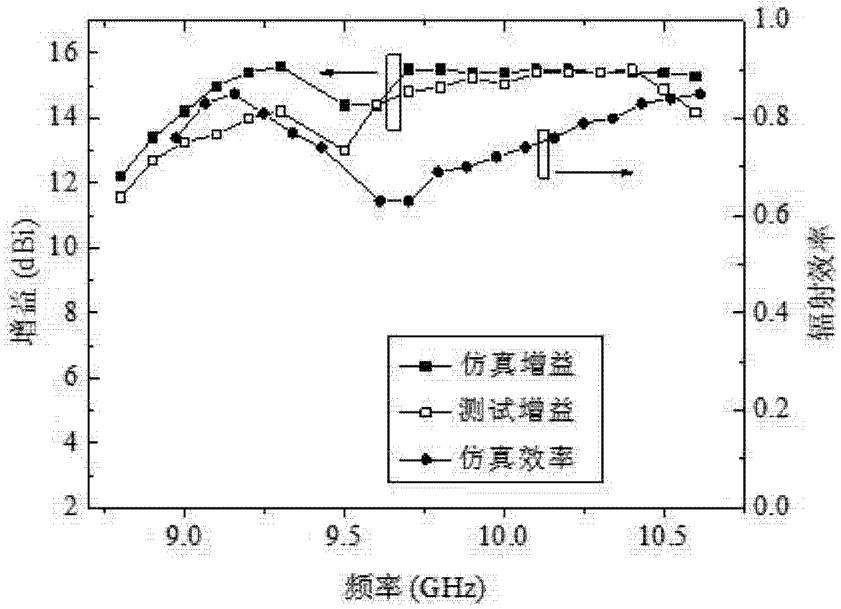

增益 (dBi)
辐射效率
频率 (GHz)
仿真增益
测试增益
仿真效率
16
14
12
10
8
6
4
2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
9.0
9.5
10.0
10.5

图 6

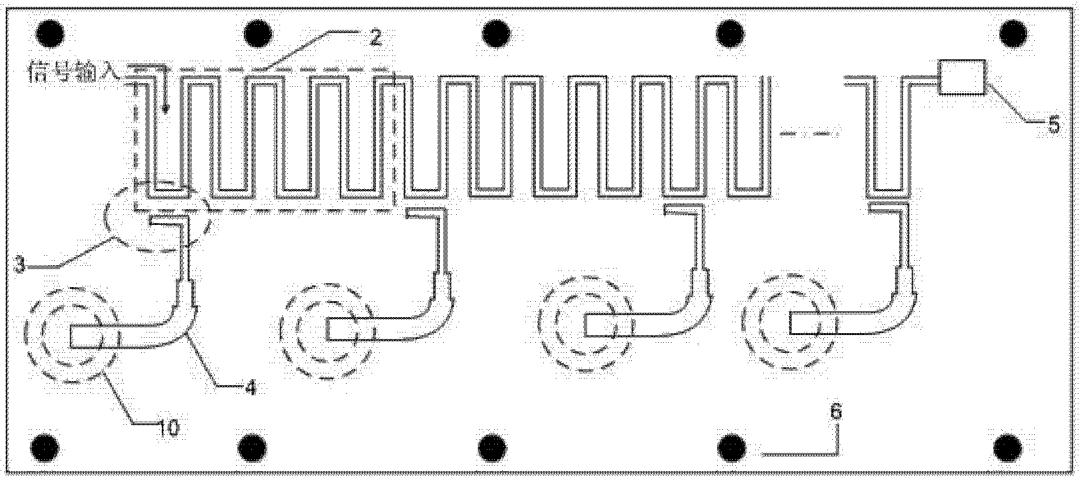

信号输入
2
3
4
5
6
10

图 7

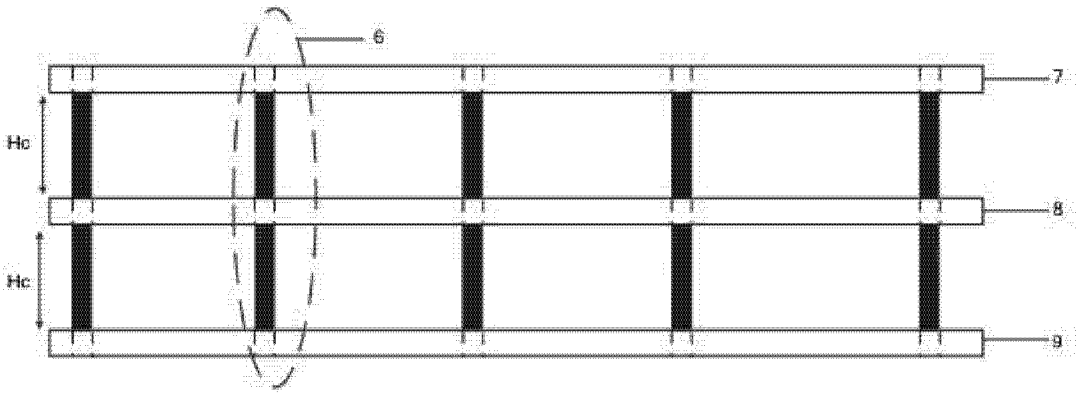


图 8

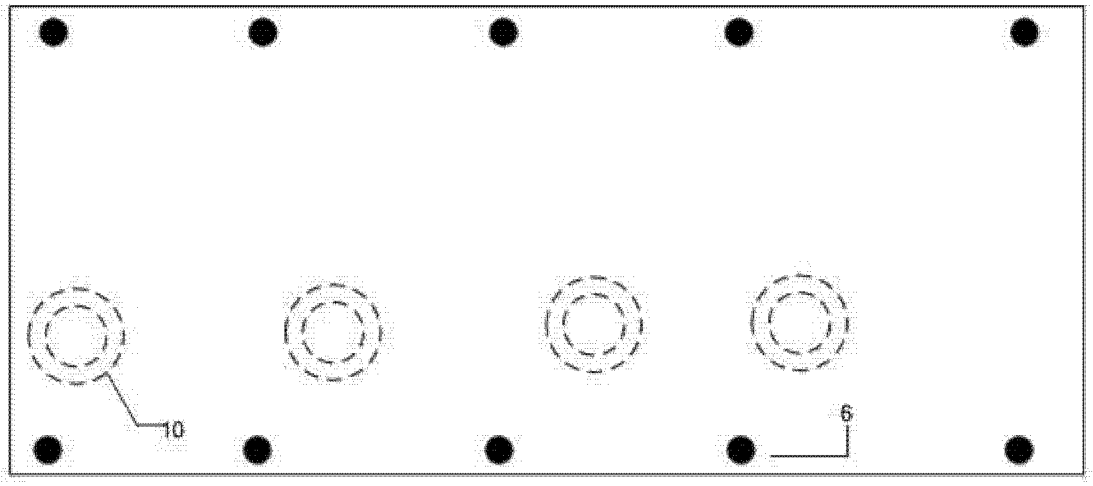


图 9

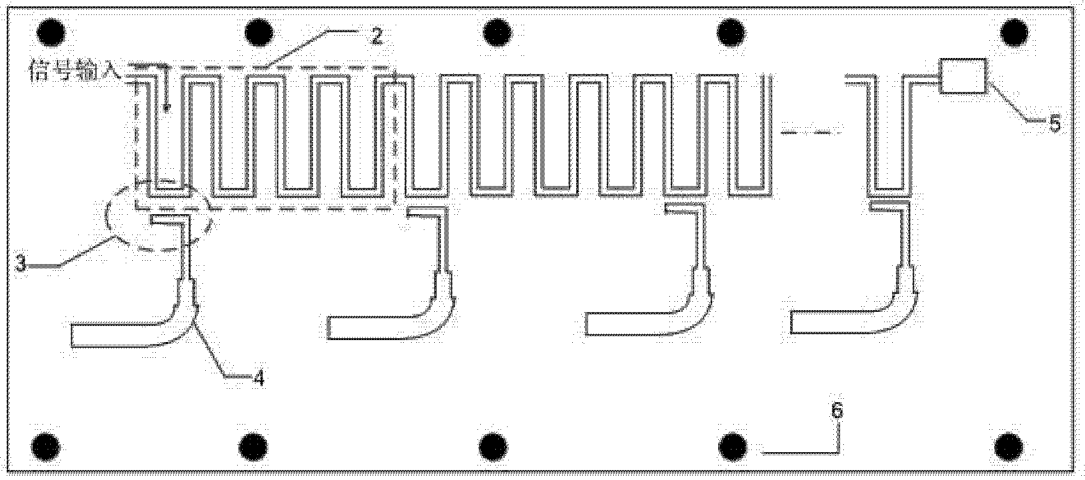


图 10

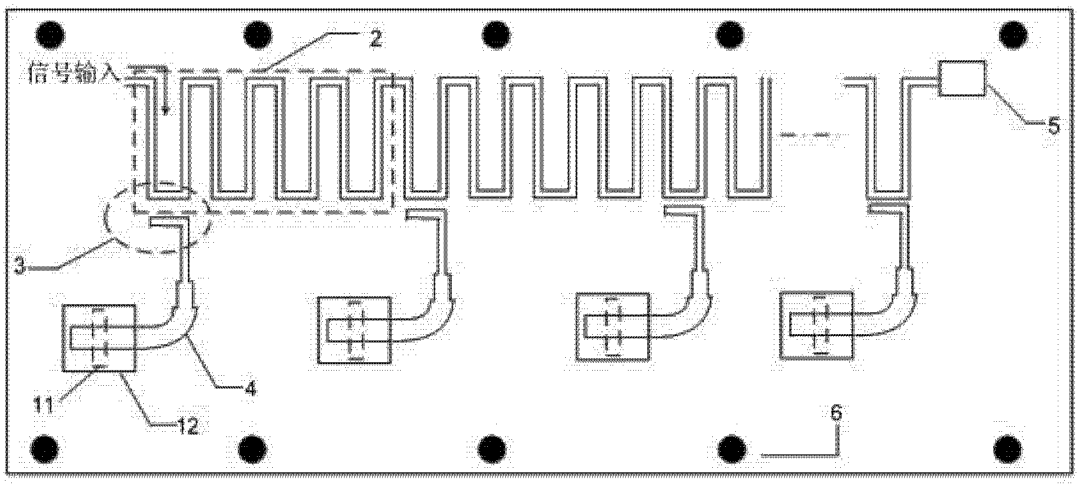


图 11

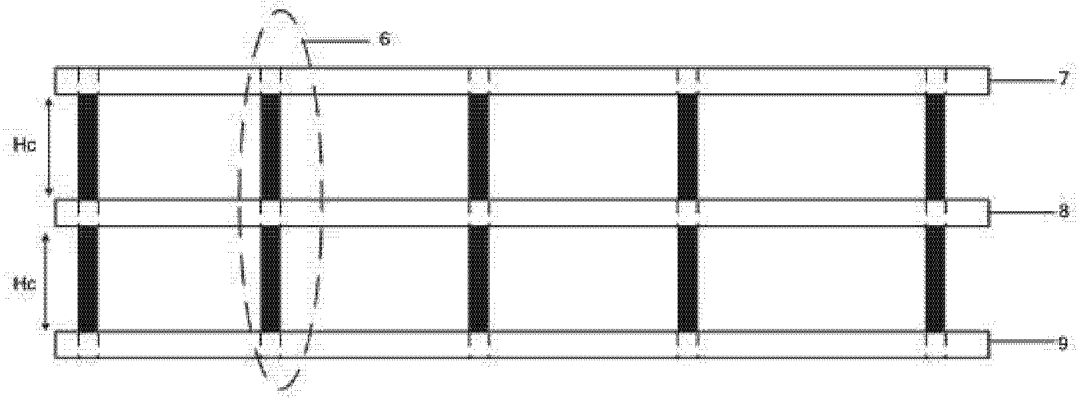


图 12

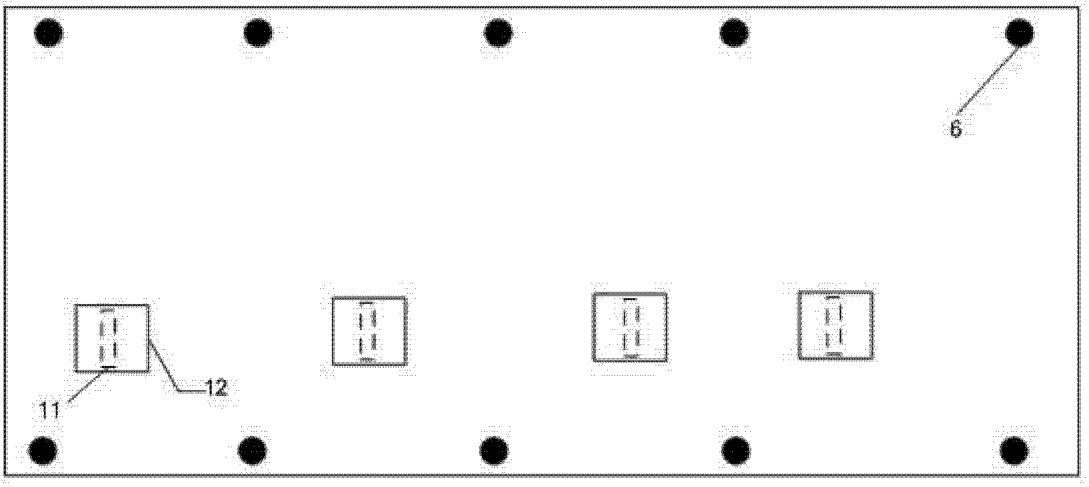


图 13

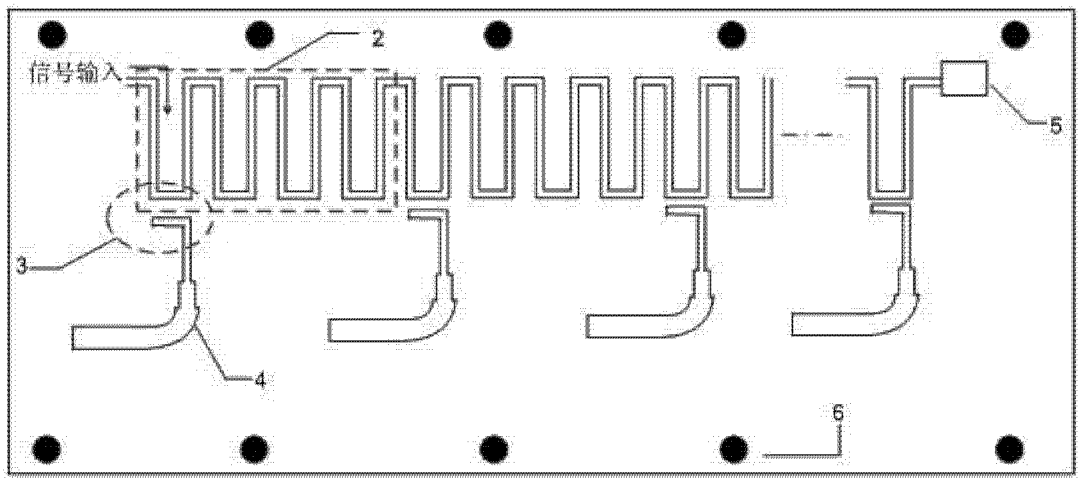


图 14