



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105720345 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(21)申请号 201610060814.3

(22)申请日 2016.01.28

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫  
200号

(72)发明人 冯文杰 赵超颖 车文荃 张颖  
杨琬琛

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心  
32203

代理人 马鲁晋

(51)Int.Cl.

H01P 5/16(2006.01)

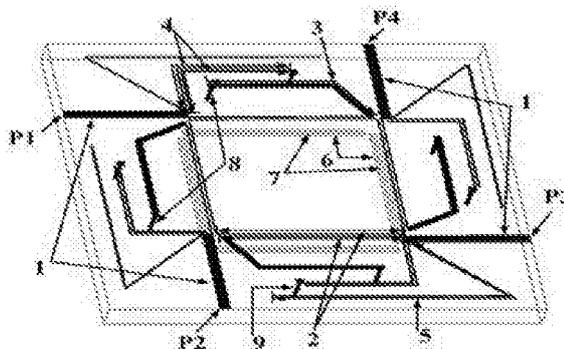
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

高选择性的宽带十字型耦合器

(57)摘要

本发明公开了一种高选择性的宽带十字型耦合器,包括了对称连接在输入、输出端口处的传统耦合线,每对耦合线中的任意一条传输线依次相连形成一个内环,另外四条传输线一端连接输入、输出端口,另一端分别串联了相同的短路分支线,在这四对耦合线正下方的地面上开槽,并且槽内置有金属片,耦合系数得以提高并有效地抑制了二次谐波。由于结构的旋转对称性,可以方便地利用二阶奇偶模分析方法分析电路并得到相应的参数值。此十字型耦合器的带宽在27.5%以上,回波损耗大于20 dB,隔离大于13.5 dB带内插损小于1.6 dB,结构紧凑、设计简单、电性能好,很容易实现与其他平面微波毫米波电路与系统的集成。



1. 一种高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,包括上层微带线结构和下层的槽线结构,其中第一网络端口(P1)、第二网络端口(P2)、第三网络端口(P3)和第四网络端口(P4)分别与四条第一微带线(1)相连,四个网络端口分别位于介质基板上层的四侧,且关于整体结构中心旋转对称;

第一网络端口(P1)、第二网络端口(P2)、第三网络端口(P3)与第四网络端口(P4)之间通过四对相同的第一耦合线(2)相连,第一耦合线(2)中的第一传输线(2-1)依次相连形成一个内环,第一耦合线(2)中的第二传输线(2-2)一端与对应的第一微带线(1)串联,另一端与对应的第二微带线(3)串联,第二微带线(3)的末端均通过对应的金属通孔(8)接地,第一传输线(2-1)和第二传输线(2-2)的宽度相等,第一传输线(2-1)、第二传输线(2-2)和第二微带线(3)的长度均为四分之一波长,第一耦合线(2)、第二微带线(3)和金属通孔(8)均关于整体结构中心旋转对称;

四对相同的第二耦合线(4)分别并联在第一微带线(1)与对应的第一传输线(2-1)连接处,第二耦合线(4)中的第三传输线(4-1)和第四传输线(4-2)宽度相等,长度均为四分之一波长,四对第二耦合线(4)关于整体结构中心旋转对称;第一微带线(1)与第一传输线(2-1)连接处均并联了第三微带线(5),第三微带线(5)的长度为半波长,且四条第三微带线(5)关于整体结构中心旋转对称;介质板的下层的第五传输线(7)位于对应的槽线(6)内,槽线(6)的长度为四分之一波长,且每条第五传输线(7)与每条槽线(6)关于第一耦合线(2)短边对称,四条第五传输线(7)与槽线(6)关于整体结构中心旋转对称。

2. 根据权利要求1中所述的高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,所述每对第一耦合线(2)均包括两条宽度相等,长度为四分之一波长的第一传输线(2-1)和第二传输线(2-2),四对第一耦合线(2)关于整体结构中心旋转对称。

3. 根据权利要求1中所述的高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,所述每对第二耦合线(4)均包括两条宽度相等,长度为四分之一波长的第三传输线(4-1)和第四传输线(4-2),其中,第三传输线(4-1)一端与第一微带线(1)相连,另一端开路,第四传输线(4-2)在第三传输线(4-1)和第一微带线(1)相连的一端开路,另一端与第六传输线(4-3)串联,第六传输线(4-3)通过金属通孔(9)接地。

4. 根据权利要求1或3所述的高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,四条第一微带线(1)均具有相等的长度和宽度,其阻抗值都等于50欧姆。

5. 根据权利要求1或2所述的高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,第一传输线(2-1)、第二传输线(2-2)、第二微带线(3)、第三传输线(4-1)与第四传输线(4-2)、槽线(6)的长度相等,均为四分之一波长,其中第一传输线(2-1)与第二传输线(2-2)的宽度相等,第三传输线(4-1)与第四传输线(4-2)的宽度相等。

6. 根据权利要求1或2所述的高选择性的宽带十字型耦合器,其特征在于,介质基板的介电常数为2~16,介质基板的高度为0.1~3mm。

## 高选择性的宽带十字型耦合器

### 技术领域

[0001] 本发明属于微波毫米波混合平面集成电路,特别是一种高选择性的宽带十字型耦合器。

### 背景技术

[0002] 十字型耦合器是微波集成电路中一个重要的无源器件,它使得传输路径存在互连的两路信号能够相互隔离,互不干扰地进行传输。对于一个理想的十字型耦合器,相邻的端口有良好的隔离,相对的端口无耗传输。过去常采用三维结构这种最直接的方法实现,例如空气桥、焊接线。但是这种方法成本高,结构复杂。现在已经设计出了许多平面的单频/双频十字型耦合器,环形结构和分支线的加载最为常见,如文献1(“Y.Chen and S.-P.Yeo,A symmetrical four-port microstrip coupler for crossover application,”IEEE Trans.Microw.Theory Tech.,vol.55,no.11,pp.2434-2438,Nov.2007.”),文献2(“F.Lin,Q.-X.Chu,and S.W.Wong,Dual-band planar crossover with two-section branch-line structure,IEEE Trans.Microw.Theory Techn.,vol.61,no.6,pp.2309-2316,Jun.2013.”),以及文献3(“He Zhu,Yifan Wang,Amin M.Abbosh,Broadband microwave crossover using parallel-coupled microstrip lines and short-ended stubs,IET Microw.Antennas Propag.,,2015,vol.9,Iss.1,pp.79-85.”),都详细地介绍了不同结构的十字型耦合器,虽然级联结构拓宽了带宽,但也增大了电路的尺寸,插入损耗变大。这些问题可通过不同形状的贴片谐振器、双面结构或者微带-槽线/共面波导过渡结构解决,如文献4(“W.Liu,Z.Zhang,Z.Feng,M.Iskander,A compact wideband micro-strip crossover,IEEE Microw.Wirel.Compon.Lett.,2012,22,(5),pp.254-256.”),以及文献5(“B.Henin,A.Abbosh,Design of a compact planar crossover using Sierpinski carpet micro strip patch,IET Microw.Antennas Propag.,2013,7,(1),pp.54-60.”),都比较详细地介绍了几种小型化的十字型耦合器。另外,多功能的电路结构也有深入研究,如文献6(“X.Y.Zhang,Q.-Y.Guo,K.-X.Wang,B.-J.Hu,and H.L.Zhang,Compact filtering crossover using stub-loaded ring resonator,IEEE Microw.Wireless Compon.Lett.,vol.24,no.5,pp.327-329,May 2014.”)。

[0003] 但上述结构有些带宽较窄,有些选择性较差,不能满足宽带和高选择性的需要。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种高选择性的宽带十字型耦合器。

[0005] 实现本发明目的的技术解决方案为:一种高选择性的宽带十字型耦合器,包括上层微带线结构和下层的槽线结构,其中第一网络端口、第二网络端口、第三网络端口和第四网络端口分别与四条第一微带线相连,四个网络端口分别位于介质基板上层的四侧,且关于整体结构中心旋转对称;

[0006] 第一网络端口、第二网络端口、第三网络端口与第四网络端口之间通过四对相同

的第一耦合线相连,第一耦合线中的第一传输线依次相连形成一个内环,第一耦合线中的第二传输线一端与对应的第一微带线串联,另一端与对应的第二微带线串联,第二微带线的末端均通过对应的金属通孔接地,第一传输线和第二传输线的宽度相等,第一传输线、第二传输线和第二微带线的长度均为四分之一波长,第一耦合线、第二微带线和金属通孔均关于整体结构中心旋转对称;

[0007] 四对相同的第二耦合线分别并联在第一微带线与对应的第一传输线连接处,第二耦合线中的第三传输线和第四传输线宽度相等,长度均为四分之一波长,四对第二耦合线关于整体结构中心旋转对称;第一微带线与第一传输线连接处均并联了第三微带线,第三微带线的长度为半波长,且四条第三微带线关于整体结构中心旋转对称;介质板的下层的第五传输线位于对应的槽线内,槽线的长度为四分之一波长,且每条第五传输线与每条槽线关于第一耦合线短边对称线对称,四条第五传输线与槽线关于整体结构中心旋转对称。

[0008] 本发明与现有技术相比,其显著优点为:(1)本发明的耦合器利用加载的耦合线和半波长开路线使得带外产生了四个传输零点,改善了通带两侧的选择性,上阻带延伸至 $2.95f_0$ ( $f_0$ 为中心频率);(2)在耦合线的接地板上引入了槽型宽边耦合结构,即耦合线正下方有一条槽线,并在槽线内蚀刻出一块金属片,不仅增强了对应耦合线的耦合系数,并且有效地抑制了二次谐波;(3)带内产生了5个传输极点,通带性能良好,带宽达到了27.5%。

[0009] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

## 附图说明

[0010] 图1为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的上层结构示意图。

[0011] 图2为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的下层结构示意图。

[0012] 图3为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的第一耦合线(2)的结构示意图。

[0013] 图4为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的第二耦合线(4)的结构示意图。

[0014] 图5为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的3D结构示意图。

[0015] 图6为本发明高选择性的宽带十字型耦合器的传输和隔离的结果图。

## 具体实施方式

[0016] 本发明公开了一种高选择性的宽带十字型耦合器,包括上层微带线结构和下层的槽线结构,其中第一网络端口P1、第二网络端口P2、第三网络端口P3和第四网络端口P4分别与四条第一微带线1相连,四个网络端口分别位于介质基板上层的四侧,且关于整体结构中心旋转对称;

[0017] 第一网络端口P1、第二网络端口P2、第三网络端口P3与第四网络端口P4之间通过四对相同的第一耦合线2相连,第一耦合线2中的第一传输线2-1依次相连形成一个内环,第一耦合线2中的第二传输线2-2一端与对应的第一微带线1串联,另一端与对应的第二微带线3串联,第二微带线3的末端均通过对应的金属通孔8接地,第一传输线2-1和第二传输线2-2的宽度相等,第一传输线2-1、第二传输线2-2和第二微带线3的长度均为四分之一波长,第一耦合线2、第二微带线3和金属通孔8均关于整体结构中心旋转对称;

[0018] 四对相同的第二耦合线4分别并联在第一微带线1与对应的第一传输线2-1连接处,第二耦合线4中的第三传输线4-1和第四传输线4-2宽度相等,长度均为四分之一波长,

四对第二耦合线4关于整体结构中心旋转对称;第一微带线1与第一传输线2-1连接处均并联了第三微带线5,第三微带线5的长度为半波长,且四条第三微带线5关于整体结构中心旋转对称;介质板的下层的第五传输线7位于对应的槽线6内,槽线6的长度为四分之一波长,且每条第五传输线7与每条槽线6关于第一耦合线2短边对称线对称,四条第五传输线7与槽线6关于整体结构中心旋转对称。

[0019] 所述每对第一耦合线2均包括两条宽度相等,长度为四分之一波长的第一传输线2-1和第二传输线2-2,四对第一耦合线2关于整体结构中心旋转对称。

[0020] 所述每对第二耦合线4均包括两条宽度相等,长度为四分之一波长的第三传输线4-1和第四传输线4-2,其中,第三传输线4-1一端与第一微带线1相连,另一端开路,第四传输线4-2在第三传输线4-1和第一微带线1相连的一端开路,另一端与第六传输线4-3串联,第六传输线4-3通过金属通孔9接地。

[0021] 四条第一微带线1均具有相等的长度和宽度,其阻抗值都等于50欧姆。

[0022] 所述第一传输线2-1、第二传输线2-2、第二微带线3、第三传输线4-1与第四传输线4-2、槽线6的长度相等,均为四分之一波长,其中第一传输线2-1与第二传输线2-2的宽度相等,第三传输线4-1与第四传输线4-2的宽度相等。

[0023] 介质基板的介电常数为2~16,介质基板的高度为0.1~3mm。

[0024] 第二耦合线4、第二微带线3和第三微带线5的弯折没有限制,只需保证其长度分别为四分之一波长、四分之一波长和半波长。

[0025] 下面进行更详细的描述:

[0026] 本发明是一种高选择性的宽带十字型耦合器,利用在输入、输出端加载开路/短路耦合线和开路枝节,带外产生了四个传输零点,提高了通带两端的选择性以及改善了上阻带性能。并且,在它们与短路枝节的作用下,带内出现了5个传输极点,带内性能良好。在耦合线的接地板上引入了槽型宽边耦合结构,即耦合线正下方有一条槽线,并在槽线内蚀刻出一块金属片,不仅增强了耦合线的耦合系数,并且有效地抑制了二次谐波。由于耦合系数的提高,使得带宽变大,此结构的带宽达到了27.5%以上,端口隔离度大于13.5dB,结构紧凑、设计简单、电性能好,以便提供一种更加实用的平面宽带多端口平衡网络结构。

[0027] 结合图1和图2,本发明是一种高选择性的宽带十字型耦合器,包括上层微带线结构和下层的槽线结构,其中第一网络端口、第二网络端口、第三网络端口和第四网络端口分别与四条微带线1相连,四个网络端口分别位于介质基板上层的四侧,且关于整体结构中心旋转对称。第一网络端口、第二网络端口、第三网络端口与第四网络端口之间通过四对相同的耦合线2相连,耦合线2中的第一传输线依次相连形成一个内环,耦合线2中的第二传输线一端与微带线1串联,另一端与四分之一波长的微带线3串联,微带线3的末端通过金属通孔8接地,四对相同的耦合线4和半波长的微带线5并联在微带线1与第一传输线连接处,且耦合线2、微带线3、金属通孔8、耦合线4和微带线5关于整体结构中心旋转对称。

[0028] 通过加载开路/短路耦合线和开路枝节产生了四个传输零点,其中两个位于 $0.5f_0$ 和 $1.5f_0$ ( $f_0$ 为中心频率)处,另外两个的位置可由公式(1)得到:

$$[0029] \quad \theta_{tz1} = \arccos \frac{Z_{e2} - Z_{o2}}{Z_{e2} + Z_{o2}}, \quad \theta_{tz2} = \pi - \theta_{tz1} \quad (1)$$

[0030] 公式(1)表明这两个传输零点的位置仅由加载的开路/短路耦合线的奇偶模阻抗

决定,则 $0.5f_0$ 和 $1.5f_0$ 处的零点是由半波长的开路线所产生的。

[0031] 介质板的下层有第五传输线和槽线且第五传输线位于槽线内,其中槽线的长度为四分之一波长,每条第五传输线与每条槽线关于第一耦合线2短边对称线对称,四条第五传输线与槽线关于整体结构中心旋转对称。传统的耦合线存在两个限制。一是耦合系数有上限,这是因为实际的PCB加工工艺不能保证过小的线宽和缝隙精度;二是奇偶模相速不同导致的二次谐波。本发明通过在耦合线正下方开槽并在槽内蚀刻金属片解决了这两个问题。对于一个简单的耦合线而言,偶模的特征阻抗主要取决于微带线对地的电容,奇模的特征阻抗主要取决于耦合线和微带线对地的电容。由改进后的耦合线的电场分布可以看出,偶模的电容减小,阻抗增大;奇模的电容增大,奇模阻抗减小。因此,得以实现强耦合。调节本发明中的任意参数值可以使得二次谐波处降到 $-20\text{dB}$ ,但其尖峰仍然存在。而改进后的耦合线消除了这一尖峰,产生了带外的第五个零点。

[0032] 本发明是一种高选择性的宽带十字型耦合器,连接四个网络端口的微带线1具有相等的长度和宽度,其阻抗值都等于50欧姆。第一传输线、第二传输线、微带线3、第三传输线与第四传输线、槽线的长度相等,均为四分之一波长,其中第一传输线与第二传输线的宽度相等,第三传输线与第四传输线的宽度相等。耦合线2、微带线3、耦合线4、微带线5、槽线6、第五传输线、金属通孔8和金属通孔9均关于整体结构中心旋转对称。介质基板的介电常数为 $2\sim 16$ ,介质基板的高度为 $0.1\sim 3\text{mm}$ 。

[0033] 耦合线4、微带线3和微带线5的弯折没有限制,只需保证其长度分别为四分之一波长、四分之一波长和半波长。

[0034] 下面结合实施例对本发明做进一步详细的说明:

[0035] 本发明是一种高选择性的宽带十字型耦合器,采用了环形谐振器和级联结构,通过加载耦合线和开路、短路枝节实现了带内5个传输极点和带外4个传输零点,耦合线正下方开槽并在槽内蚀刻金属片提高了耦合线的耦合系数,抑制了二次谐波,并在二倍频处产生了一个零点。介质基板的尺寸是 $56\text{mm}\times 56\text{mm}\times 0.508\text{mm}$ ,介质基板的介电常数为2.65,介质基板分上下两层结构。所选的十字型耦合器工作在S波段,工作频段为 $1.94\sim 2.545\text{GHz}$ ,中心频率的四分之一波长为 $23.2\text{mm}$ ,六个端口处连接的50欧姆的微带线1的宽度为 $1.38\text{mm}$ ,长度为 $16\text{mm}$ ,耦合线2间隙为 $0.21\text{mm}$ ,其中第一传输线和第二传输线的宽度为 $0.19\text{mm}$ ,长度为 $24\text{mm}$ ,耦合线4间隙为 $0.19\text{mm}$ ,其中第三传输线宽度为 $0.2\text{mm}$ ,长度为 $23.7\text{mm}$ ,第四传输线的宽度为 $0.2\text{mm}$ ,长度为 $23.42\text{mm}$ ,微带线3的宽度为 $0.91\text{mm}$ ,长度为 $23.55\text{mm}$ ,连接在微带线1和耦合线2之间的微带线5的宽度为 $0.21\text{mm}$ ,长度为 $46.5\text{mm}$ ,与微带线3相连的金属通孔8以及与第六传输线相连的金属通孔9的直径均为 $0.6\text{mm}$ ,槽线6的宽度为 $0.6\text{mm}$ ,长度为 $23.12\text{mm}$ ,第五传输线的宽度为 $0.2\text{mm}$ ,长度为 $22.52\text{mm}$ 。

[0036] 由图6可知,两路信号在1(3)端口和2(4)端口输入时,带外的5个零点有效地实现阻带性能并延伸至 $2.95f_0$ ,带内有良好的传输特性和低插入损耗,且带宽增大至 $27.5\%$ ,相邻端口的隔离在整个频段内都大于 $13.5\text{dB}$ 。

[0037] 以上便是该高选择性的宽带十字型耦合器的设计方法和具体实例设计,该十字型耦合器采用了开路/短路耦合线和开路枝节,实现了带外4个传输零点,在地面上开槽并在槽内蚀刻金属片提高了耦合线的耦合系数,并有效地抑制了二次谐波,在二倍频处产生第5个零点,该结构所实现的相对带宽有 $27.5\%$ ,设计简单,实用性更强。测试本发明设计实例

的结果表明:5个传输零点分别位于1.16GHz、1.78GHz、2.83GHz、3.52GHz、4.68GHz,3dB相对带宽延展到了27.7%,带内的插入损耗低于1.6dB,上阻带延伸至 $2.95f_0$ 并大于25dB,隔离度在整个频段内都大于13.5dB。总体积为56mm\*56mm\*0.508mm,重量不足140克。

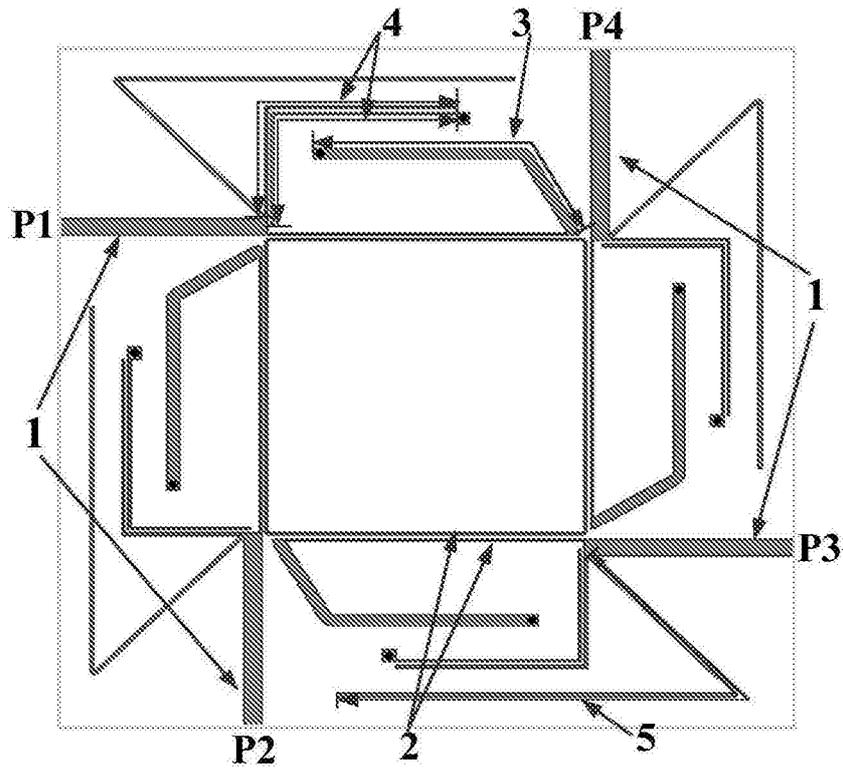


图1

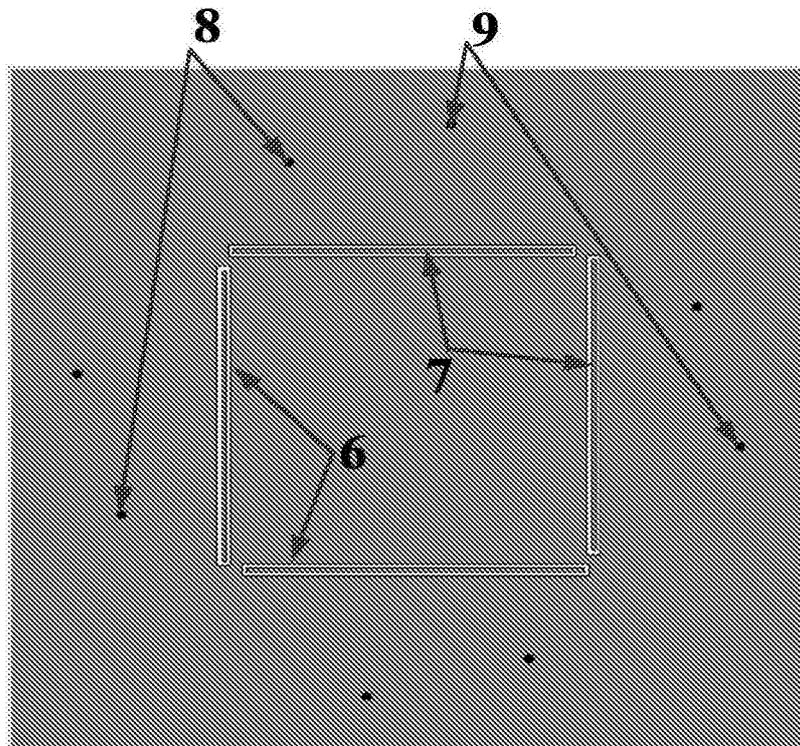


图2

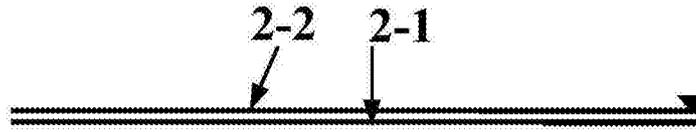


图3

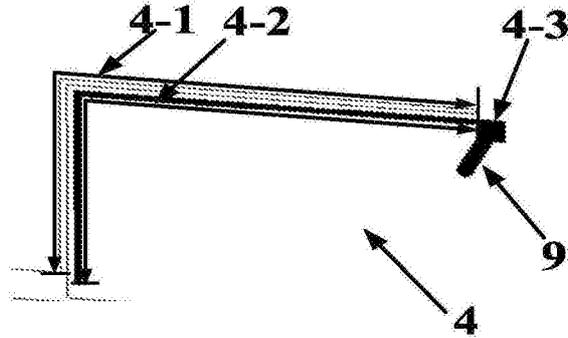


图4

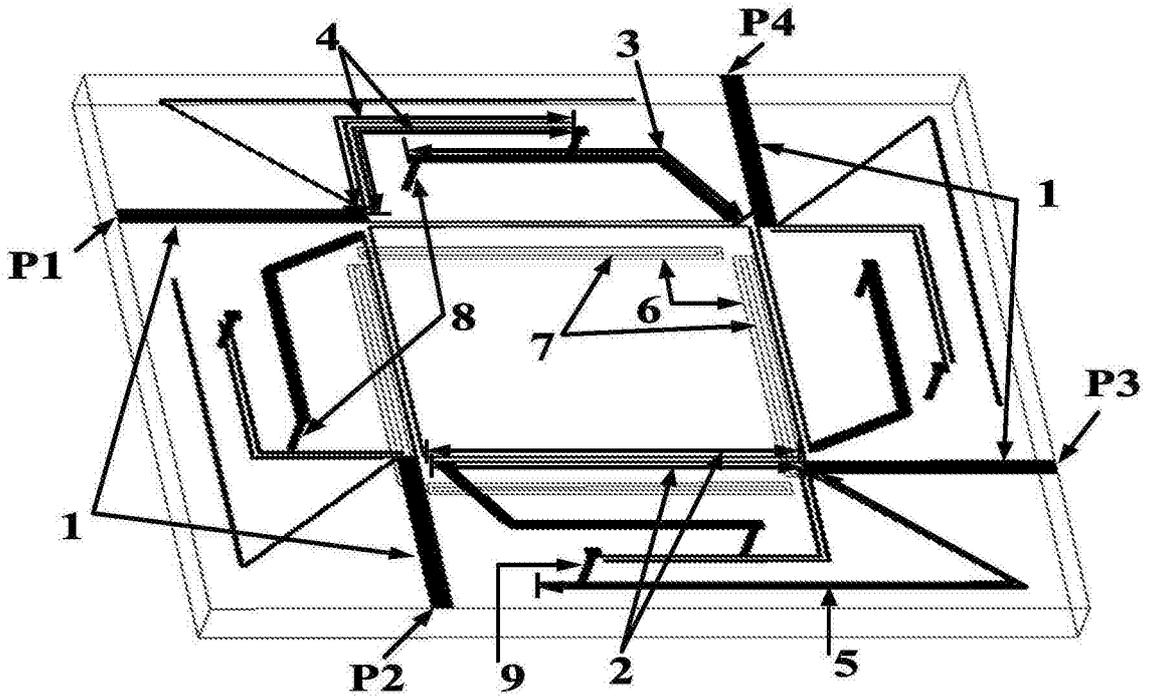


图5

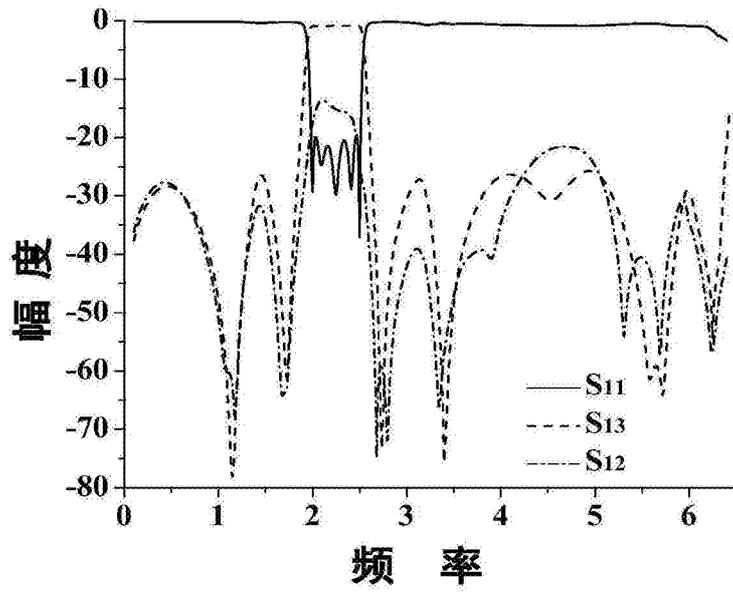


图6