



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102760968 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 15

(21) 申请号 201210275368. X

(22) 申请日 2012. 08. 03

(73) 专利权人 深圳光启创新技术有限公司  
地址 518034 广东省深圳市福田区香梅路  
1061 号中投国际商务中心 A 栋 18B

(72) 发明人 刘若鹏 赵治亚 寇超锋 叶金财

(74) 专利代理机构 北京成创同维知识产权代理  
有限公司 11449  
代理人 蔡纯 刘锋

(51) Int. Cl.  
H01Q 17/00(2006. 01)

(56) 对比文件  
US 2771602 A1, 1956. 11. 20, 说明书第 1  
栏 - 第 4 栏、附图 1-3.  
US 2771602 A1, 1956. 11. 20, 说明书第 1

栏 - 第 4 栏、附图 1-3.

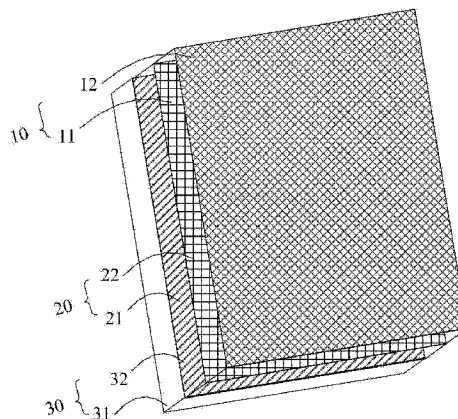
Alireza Kazemzadeh 等. "MULTILAYERED  
WIDEBAND ABSORBERS FOR OBLIQUE ANGLE OF  
INCIDENCE". 《Antennas and Propagation, IEEE  
Transactions》. 2010, 第 58 卷 (第 11 期), 第  
3637-3646 页.

审查员 马丽

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称  
一种宽频吸波超材料

(57) 摘要  
本发明公开一种宽频吸波超材料,所述宽频吸波超材料虚拟划分为多个周期排列的基本单元,所述基本单元由沿电磁波传播方向依次层叠的第一子单元、第二子单元以及第三子单元构成;第一子单元包括第一基材以及附着于第一基材上的第一微结构,第二子单元包括第二基材以及附着于第二基材上的第二微结构,第三子单元包括第三基材以及附着于第三基材上的第三微结构;第一微结构、第二微结构以及第三微结构分别将第一基材、第二基材以及第三基材上附着有第一微结构、第二微结构以及第三微结构的表面全部填充。本发明利用超材料原理和传输线理论设计吸波超材料,其在 4GHZ 至 17GHZ 区间,电磁波的衰减度均能达到 20dB 以上。且本发明吸波超材料厚度较薄,应用范围较广。



1. 一种宽频吸波超材料,其特征在于:所述宽频吸波超材料虚拟划分为多个周期排列的基本单元,所述基本单元由沿电磁波传播方向依次层叠的第一子单元、第二子单元以及第三子单元构成;所述第一子单元包括第一基材以及附着于第一基材上的第一微结构,所述第二子单元包括第二基材以及附着于第二基材上的第二微结构,所述第三子单元包括第三基材以及附着于第三基材上的第三微结构;所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构分别将所述第一基材、第二基材以及第三基材上附着有第一微结构、第二微结构以及第三微结构的表面全部填充;所述第一微结构的电导率为 35-36S/m,第二微结构的电导率为 82-84S/m,第三微结构的电导率为 173-175S/m,其中所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构由电导率不同的导电油墨制成,并且,所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构厚度相同。

2. 如权利要求 1 所述的宽频吸波超材料,其特征在于:所述第一基材、第二基材以及第三基材均由介电常数大致为 1 的材料制成。

3. 如权利要求 1 所述的宽频吸波超材料,其特征在于:所述宽频吸波超材料厚度为 20-22 毫米。

4. 如权利要求 1 至 3 任一项所述的宽频吸波超材料,其特征在于:所述基本单元的等效电路为:所述等效电路包括串联的第一传输线元件、第二传输线元件以及第三传输线元件,还包括第一电阻、第二电阻以及第三电阻;用于模拟发射电磁波的端口元件接入第一传输线元件,第三传输线元件接地,第二传输线元件接入第一传输线元件以及第三传输线元件之间;第一电阻一端接入端口元件与第一传输线元件之间,另一端接地;第二电阻一端接于第一传输线元件与第二传输线元件之间,另一端接地;第三电阻一端接于第二传输线元件与第三传输线元件之间,另一端接地。

5. 如权利要求 4 所述的宽频吸波超材料,其特征在于:所述第一电阻值为 1500 至 1600 欧姆,第二电阻值为 650-700 欧姆,第三电阻值为 300-350 欧姆;所述第一传输线元件的参数为:第一特征阻抗为 377 欧姆,第一传输距离为 7 毫米,第一中心频点为 10GHZ;第二传输线元件的参数为:第二特征阻抗为 377 欧姆,第二传输距离为 7 毫米,第二中心频点为 10GHZ;第三传输线元件的参数为:第三特征阻抗为 377 欧姆,第三传输距离为 7 毫米,第三中心频点为 10GHZ。

6. 如权利要求 1 至 3 任一项所述的宽频吸波超材料,其特征在于:所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构的厚度均为 0.01-0.02 毫米。

## 一种宽频吸波超材料

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种吸波材料,尤其涉及一种利用超材料理论和传输线理论设计的宽频吸波超材料。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术发展的日新月异,以电磁波为媒介的技术、各种产品越来越多,电磁波辐射对环境的影响也日益增大。比如,无线电波可能对机场环境造成干扰,导致飞机航班无法正常起飞;移动电话可能会干扰各种精密电子医疗器械的工作;即使是普通的计算机,也会辐射携带信息的电磁波,它可能在几公里以外被接收和重现,造成国防、政治、经济、科技等方面情报的泄漏。因此,治理电磁污染,寻找一种能抵挡并削弱电磁波辐射的材料——吸波材料,已成为材料科学的一大课题。

[0003] 吸波材料是能吸收投射到它表面的电磁波能量的一类材料,其在包括军事以及其它方面也有广泛的应用,比如隐形机、隐形衣等。材料吸收电磁波的基本条件是:(1)电磁波入射到材料上时,它能最大限度地进入材料内部,即要求材料具有匹配特性;(2)进入材料内部的电磁波能迅速地几乎全部衰减掉,即衰减特性。

[0004] 现有的吸波材料利用各个材料自身对电磁波的吸收性能,通过设计不同材料的组分使得混合后的材料具备吸波特性的,此类材料设计复杂且不具有大规模推广性,同时此类材料的机械性能受限于材料本身的机械性能,不能满足特殊场合的需求。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述不足,提出一种利用超材料理论和传输线理论设计的宽频吸波超材料,该吸波超材料对应的吸波频段宽、吸波超材料厚度薄且对电磁波的衰减性能好。

[0006] 本发明解决其技术问题采用的技术方案是,提出一种宽频吸波超材料,所述宽频吸波超材料虚拟划分为多个周期排列的基本单元,所述基本单元由沿电磁波传播方向依次层叠的第一子单元、第二子单元以及第三子单元构成;所述第一子单元包括第一基材以及附着于第一基材上的第一微结构,所述第二子单元包括第二基材以及附着于第二基材上的第二微结构,所述第三子单元包括第三基材以及附着于第三基材上的第三微结构;所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构分别将所述第一基材、第二基材以及第三基材上附着有第一微结构、第二微结构以及第三微结构的表面全部填充;所述第一微结构的电导率为 35-36S/m,第二微结构的电导率为 82-84S/m,第三微结构的电导率为 173-175S/m,其中所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构由电导率不同的导电油墨制成,并且,所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构厚度相同。

[0007] 进一步地,所述第一基材、第二基材以及第三基材均由介电常数为 1 的材料制成。

[0008] 进一步地,所述宽频吸波超材料厚度为 20-22 毫米。

[0009] 进一步地,所述基本单元的等效电路为:所述等效电路包括串联的第一传输线元

件、第二传输线元件以及第三传输线元件,还包括第一电阻、第二电阻以及第三电阻;用于模拟发射电磁波的端口元件接入第一传输线元件,第三传输线元件接地,第二传输线元件接入第一传输线元件以及第三传输线元件之间;第一电阻一端接入端口元件与第一传输线元件之间,另一端接地;第二电阻一端接于第一传输线元件与第二传输线元件之间,另一端接地;第三电阻一端接于第二传输线元件 105 与第三传输线元件之间,另一端接地。

[0010] 进一步地,所述第一电阻值为 1500 至 1600 欧姆,第二电阻值为 650-700 欧姆,第三电阻值为 300-350 欧姆;所述第一传输线元件的参数为:第一特征阻抗为 377 欧姆,第一传输距离为 7 毫米,第一中心频点为 10GHZ;第二传输线元件的参数为:第二特征阻抗为 377 欧姆,第二传输距离为 7 毫米,第二中心频点为 10GHZ;第三传输线元件的参数为:第三特征阻抗为 377 欧姆,第三传输距离为 7 毫米,第三中心频点为 10GHZ。

[0011] 进一步地,所述第一微结构、第二微结构以及第三微结构的厚度均为 0.01-0.02 毫米。

[0012] 本发明利用超材料原理和传输线理论设计吸波超材料,本发明吸波超材料在 4GHZ 至 17GHZ 区间,电磁波的衰减度均能达到 20dB 以上。且本发明吸波超材料厚度较薄,应用范围较广。

## 附图说明

[0013] 图 1 为构成超材料的基本单元的结构示意图;

[0014] 图 2 为本发明吸波超材料的基本单元的结构示意图;

[0015] 图 3 为第一微结构附着于第一基材上的结构示意图;

[0016] 图 4 为本发明吸波超材料的等效电路示意图;

[0017] 图 5 为本发明吸波超材料的仿真结果示意图。

## 具体实施方式

[0018] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细说明。

[0019] 光,作为电磁波的一种,其在穿过玻璃的时候,因为光线的波长远大于原子的尺寸,因此我们可以用玻璃的整体参数,例如折射率,而不是组成玻璃的原子的细节参数来描述玻璃对光线的响应。相应的,在研究材料对其他电磁波响应的时候,材料中任何尺度远小于电磁波波长的结构对电磁波的响应也可以用材料的整体参数,例如介电常数  $\epsilon$  和磁导率  $\mu$  来描述。通过设计材料每点的结构使得材料各点的介电常数和磁导率都相同或者不同,从而使得材料整体的介电常数和磁导率呈一定规律排布,规律排布的磁导率和介电常数即可使得材料对电磁波具有宏观上的响应,例如汇聚电磁波、发散电磁波、吸收电磁波等。该类具有规律排布的磁导率和介电常数的材料称之为超材料。

[0020] 如图 1 所示,图 1 为构成超材料的基本单元的立体结构示意图。超材料的基本单元包括人造微结构 1 以及该人造微结构附着的基材 2。人造微结构可为人造金属微结构,其具有对入射电磁波电场和 / 或磁场产生响应的平面或立体拓扑结构,改变每个超材料基本单元上的人造金属微结构的图案和 / 或尺寸,可改变每个超材料基本单元对入射电磁波的响应。多个超材料基本单元按一定规律排列,可使超材料对电磁波具有宏观的响应。由于超材料整体需对入射电磁波有宏观电磁响应,因此各个超材料基本单元对入射电磁波的响

应需形成连续响应,这要求每一超材料基本单元的尺寸小于入射电磁波五分之一波长,优选为入射电磁波十分之一波长。本段描述中,将超材料整体划分为多个超材料基本单元是一种人为的划分方法,但应知此种划分方法仅为描述方便,不应看成超材料由多个超材料基本单元拼接或组装而成,实际应用中超材料是将人造金属微结构周期排布于基材上即可构成,工艺简单且成本低廉。周期排布即指上述人为划分的各个超材料基本单元上的人造金属微结构能对入射电磁波产生连续的电磁响应。

[0021] 本发明利用上述超材料原理设计吸波超材料,与图 1 不同的是,本发明吸波超材料的基本单元包括多层,每层上均附着有微结构。如图 2 所示,本发明吸波超材料的基本单元由沿电磁波传播方向依次层叠的第一子单元 10、第二子单元 20 以及第三子单元 30 构成,第一子单元 10 包括第一基材 11 以及附着于第一基材 11 上的第一微结构 12,第二子单元 20 包括第二基材 21 以及附着于第二基材 21 上的第二微结构 22,第三子单元 30 包括第三基材 31 以及附着于第三基材 31 上的第三微结构 32。第一、第二、第三微结构自身可等效为电路中电感和电阻,第一微结构与第二微结构之间以及第二微结构与第三微结构之间可等效为电路中电容。采用此种结构设计超材料时,相比图 1 所示的超材料基本单元,本发明无需设计复杂的金属微结构拓扑图案,只需在每层子单元上附着一定厚度的不同于子单元基材的材质的物质即可。

[0022] 本实施例中,第一、第二、第三微结构拓扑形状均为正方形,且第一、第二、第三微结构的材质优选为导电油墨,各导电油墨的电导率不相同但各导电油墨都将第一、第二、第三子单元上附着有导电油墨的表面全部填充。如图 3 所示,图 3 为第一微结构 12 附着于第一基材 11 上的结构示意图。第二微结构与第三微结构附着于第二基材和第三基材的结构示意图与图 3 类似,不同之处在于第一微结构、第二微结构、第三微结构电导率不同。图 3 中,第一微结构呈长方体状,其长、宽等于第一子单元长、宽,其厚度为 0.01-0.02 毫米。

[0023] 由于本发明吸波超材料应用于高频领域,因此本发明采用传输线理论来具体设计第一微结构、第二微结构和第三微结构的电导率。如图 4 所示,图 4 为本发明宽频吸波超材料的等效电路图。图 4 中,端口元件 100 用于模拟从自由空间传输的电磁波,由于自由空间阻抗为 337 欧姆,因此相应地,端口元件的输入阻抗也为 337 欧姆。本发明采用三层子单元层结构,因此等效电路图中串接有三个传输线元件,端口元件接入第一传输线元件 104,第三传输线元件 106 接地,第二传输线元件 105 接入第一传输线元件 104 以及第三传输线元件 106 之间。同时由于第一、第二、第三微结构的电阻特性,等效电路图中包括第一、第二、第三电阻,其中,第一电阻 101 一端接于端口元件 100 与第一传输线元件 104 之间,另一端接地;第二电阻 102 一端接于第一传输线 104 元件与第二传输线元件 105 之间,另一端接地;第三电阻 103 一端接于第二传输线元件 105 与第三传输线元件 106 之间,另一端接地。

[0024] 通过在 CST(Computer Simulation Technology) 仿真软件中设置参数并仿真得到结果,并通过结果调整参数后,得到优选的等效电路的参数为:第一电阻 101 值为 1500 至 1600 欧姆,第二电阻 102 值为 650-700 欧姆,第三电阻 103 值为 300-350 欧姆。第一传输线元件 104 的参数为:第一特征阻抗为 377 欧姆,第一传输距离为 7 毫米,第一中心频点为 10GHZ;第二传输线元件 105 的参数为:第二特征阻抗为 377 欧姆,第二传输距离为 7 毫米,第二中心频点为 10GHZ;第三传输线元件 106 的参数为:第三特征阻抗为 377 欧姆,第三传输距离为 7 毫米,第三中心频点为 10GHZ。第一、第二、第三传输距离即为第一、第二、第三子

单元的厚度,因此本发明吸波超材料厚度较薄,仅为 20-22 毫米,可应用于各种吸波场合。经由上述参数仿真得到的 S11 参数如图 5 所示,从图 5 可知,由图 4 所示等效电路和上述各等效电路的参数得到的吸波超材料的吸波性能优良,电磁波的衰减度能达到 20dB 以上,同时该吸波超材料具有非常宽的吸波频率,在 4GHZ 至 17GHZ 区间,电磁波的衰减度均能达到 20dB 以上。

[0025] 本发明一优选实施例中,第一基材 11、第二基材 21、第三基材 31 均采用介电常数大致为 1 的材料制成,例如聚苯乙烯、玻璃、聚乙烯等;沿电磁波传播方向,第一微结构 12 的电导率为 35-36S/m,第二微结构 22 的电导率为 82-84S/m,第三微结构的电导率为 173-175S/m。在保证各微结构将各子单元表面全部填充的前提下,选择上述介电常数基本为 1 的基材材料和采用电导率满足上述各微结构要求的微结构材料即可实现图 4 所示的等效电路和等效电路中各元器件的参数。

[0026] 可以想象地,在保证各微结构将各子单元表面全部填充的效果下,可选择各种不同类型的材质来实现各微结构的电导率,也可选择相同的材质不同的厚度来实现各微结构的电导率。

[0027] 上面结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

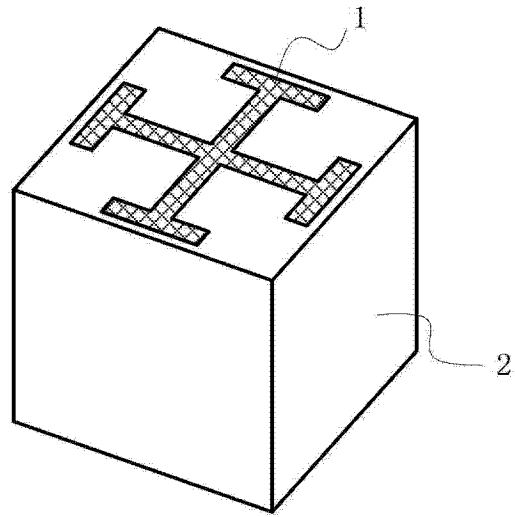


图 1

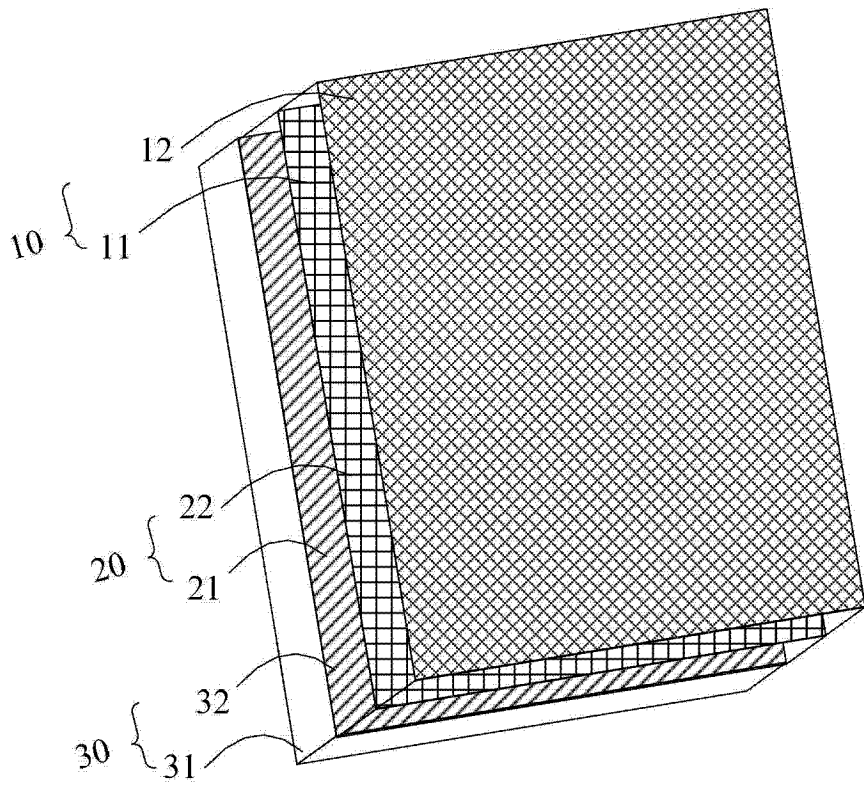


图 2

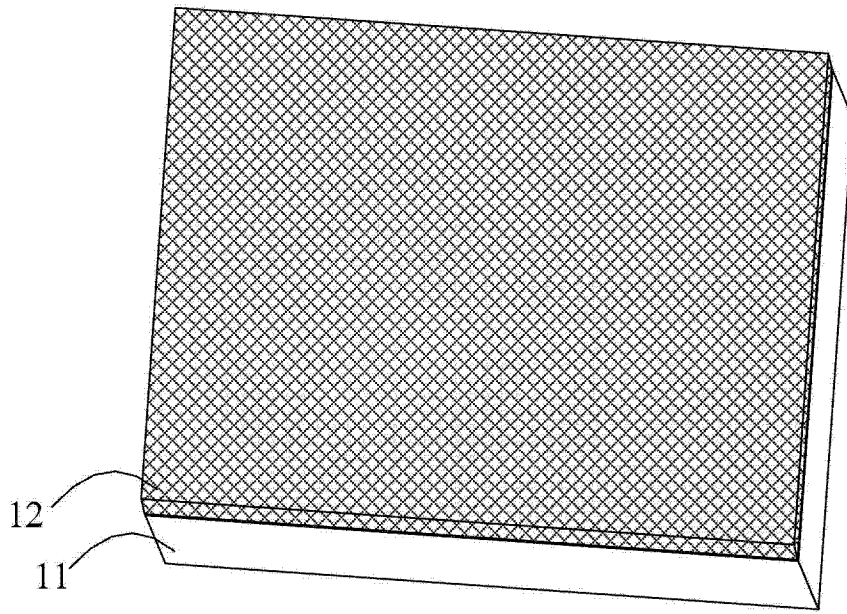


图 3

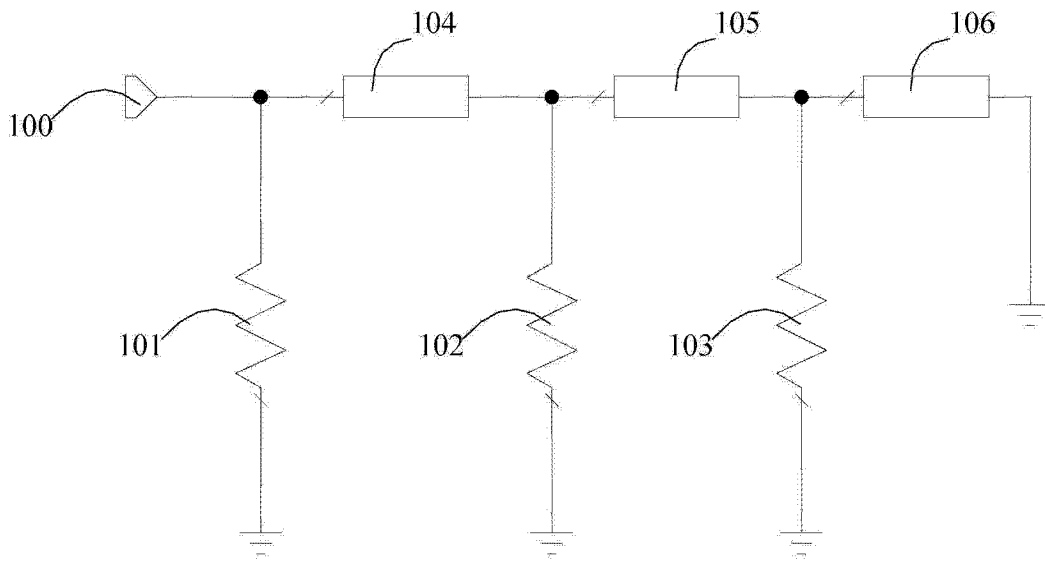


图 4



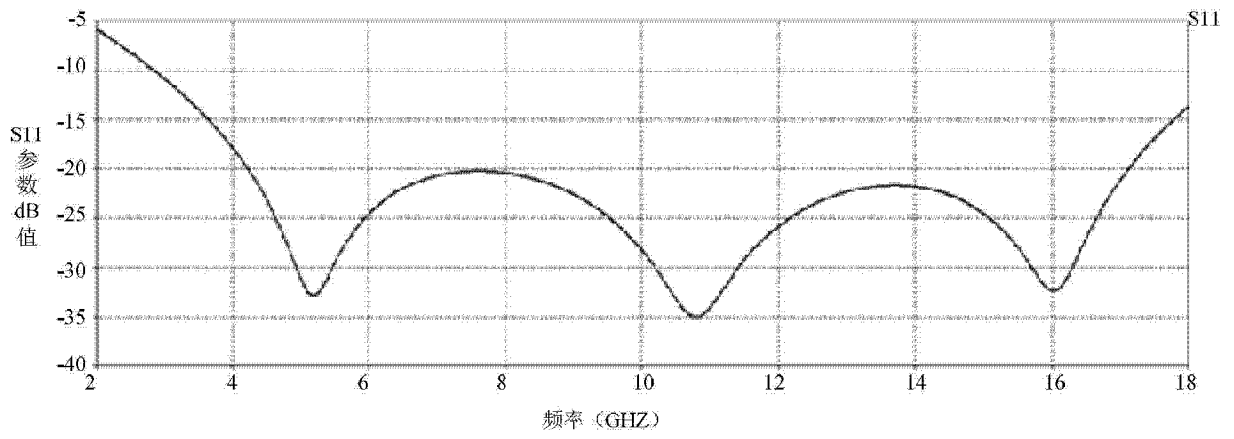


图 5