



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109818127 B

(45) 授权公告日 2021. 10. 01

(21) 申请号 201910233888.6

(56) 对比文件

(22) 申请日 2019.03.26

CN 108470968 A, 2018.08.31

CN 103972632 A, 2014.08.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109818127 A

审查员 袁典

(43) 申请公布日 2019.05.28

(73) 专利权人 大连海事大学

地址 116026 辽宁省大连市高新园区凌海路1号

(72) 发明人 刘宏梅 张妍 贾潇 房少军 王钟葆

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任公司 21212

代理人 姜玉蓉 李洪福

(51) Int. Cl.

H01P 5/18 (2006.01)

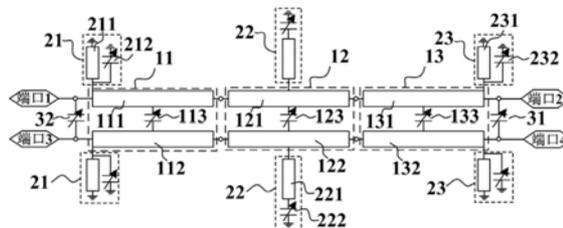
权利要求书4页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种相位连续可调横跨定向耦合器

(57) 摘要

一种相位连续可调横跨定向耦合器,包括变容二极管加载平行耦合线、电长度可调并联短路线、端部跨接变容二极管和四个50欧姆输入/输出端口;所述变容二极管加载平行耦合线包括第一段变容二极管加载平行耦合线、第二段变容二极管加载平行耦合线和第三段变容二极管加载平行耦合线;所述电长度可调并联短路线包括第一段电长度可调并联短路线、第二段电长度可调并联短路线和第三段电长度可调并联短路线。本发明提供的相位连续可调型横跨定向耦合器,具有易加工、体积小和低成本的特点,适于广泛推广。



1. 一种相位连续可调横跨定向耦合器,其特征就在于包括变容二极管加载平行耦合线、电长度可调并联短路线、端部跨接变容二极管和四个50欧姆输入输出端口;

所述变容二极管加载平行耦合线包括从左至右依次设置的第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)和第三段变容二极管加载平行耦合线(13);所述电长度可调并联短路线包括第一段电长度可调并联短路线(21)、第二段电长度可调并联短路线(22)和第三段电长度可调并联短路线(23);

所述第一段变容二极管加载平行耦合线(11)包括第一耦合线(111)、第二耦合线(112)和第一变容二极管(113);所述第一变容二极管(113)连接在第一耦合线(111)和第二耦合线(112)之间;所述第二段变容二极管加载平行耦合线(12)包括第三耦合线(121)、第四耦合线(122)和第二变容二极管(123),所述第二变容二极管(123)连接在第三耦合线(121)和第四耦合线(122)之间;所述第三段变容二极管加载平行耦合线(13)包括第五耦合线(131)、第六耦合线(132)和第三变容二极管(133),所述第三变容二极管(133)连接在第五耦合线(131)和第六耦合线(132)之间;所述第一段电长度可调并联短路线(21)包括第一固定长度并联短路线(211)和第四变容二极管(212),所述第一固定长度并联短路线(211)和第四变容二极管(212)并联连接;所述第二段电长度可调并联短路线(22)包括第二固定长度并联短路线(221)和第五变容二极管(222),所述第二固定长度并联短路线(221)和第五变容二极管(222)串联连接;所述第三段电长度可调并联短路线(23)包括第三固定长度并联短路线(231)和第六变容二极管(232),所述第三固定长度并联短路线(231)和第六变容二极管(232)并联连接;所述端部跨接变容二极管包括第七变容二极管(31)和第八变容二极管(32),所述第七变容二极管(31)并联在第五耦合线(131)和第六耦合线(132)的右端,第八变容二极管(32)并联在第一耦合线(111)和第二耦合线(112)的左端;

所述第一段电长度可调并联短路线(21)与第一变容二极管加载平行耦合线(11)的左端连接,第二段电长度可调并联短路线(22)与第二变容二极管加载平行耦合线(12)的中间连接,第三段电长度可调并联短路线(23)与第三变容二极管加载平行耦合线(13)的右端连接,所述第八变容二极管(32)跨接在第一段变容二极管加载平行耦合线(11)的左端,所述第七变容二极管(31)跨接在第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的右端;

所述第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)、第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的电长度相同,所述第一固定长度并联短路线(211)、第二固定长度并联短路线(221)和第三固定长度并联短路线(231)的特性阻抗分别与第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)和第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的偶模特性阻抗相同;

通过调节第一变容二极管(113)、第二变容二极管(123)、第三变容二极管(133)、第四变容二极管(212)、第五变容二极管(222)、第六变容二极管(232)、第七变容二极管(31)和第八变容二极管(32)的容值实现 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 的相位连续调节;

所述四个50欧姆输入/输出端口包括输入端口、耦合端、隔离端和直通端口,所述耦合端口和直通端口之间的相位差为 $\varphi$ ,耦合端口和直通端口之间的功分比为 $k = \frac{|S_{31}|}{|S_{41}|}$ ,实现两

端口间的不同功分比,利用奇偶模分析法把耦合器的四端口网络转化为两个二端口网络进行分析,计算电路参量,

偶模激励下,横跨定向耦合器对称面上的电流为零,等效为开路, $Z_{1e}$ 为第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)或第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的偶模特性阻抗, $Z_1$ 为第一段电长度可调并联短路线(21)、第二段电长度可调并联短路线(22)或第三段电长度可调并联短路线(23)的特性阻抗, $\theta_{1e}$ 为第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)或第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的偶模电长度, $\theta_4$ 为第一段电长度可调并联短路线(21)的等效电长度, $\theta_4$ 与第一固定长度并联短路线(211)的电长度 $\theta_{4\_fix}$ 和第四变容二极管(212)的容值 $C_6$ 满足如下关系:

$$\theta_4 = \text{arccot} (Z_1 \omega C_6 + \cot \theta_{4\_fix})$$

$\theta_2$ 为第二段电长度可调并联短路线(22)的等效电长度, $\theta_2$ 与第二固定长度并联短路线(221)的电长度 $\theta_{2\_fix}$ 和第五变容二极管(222)的容值 $C_7$ 满足如下关系:

$$\theta_2 = \arctan \frac{Z_1 \omega C_7 \cot \theta_{2\_fix} - 1}{Z_1 \omega C_7 + \cot \theta_{2\_fix}}$$

$\theta_3$ 为第三段电长度可调并联短路线(23)的等效电长度, $\theta_3$ 与第三固定长度并联短路线(231)的电长度 $\theta_{3\_fix}$ 和第六变容二极管(232)的容值 $C_8$ 满足如下关系:

$$\theta_3 = \text{arccot} (Z_1 \omega C_8 + \cot \theta_{3\_fix})$$

奇模激励下,横跨定向耦合器对称面上的电压为零,等效为短路, $Z_{1o}$ 为第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)或第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的奇模特性阻抗, $Z_1$ 为第一段电长度可调并联短路线(21)、第二段电长度可调并联短路线(22)或第三段电长度可调并联短路线(23)的特性阻抗, $\theta_{1o}$ 为第一段变容二极管加载平行耦合线(11)、第二段变容二极管加载平行耦合线(12)或第三段变容二极管加载平行耦合线(13)的奇模电长度, $\theta_4$ 为第一段电长度可调并联短路线(21)的等效电长度, $\theta_2$ 为第二段电长度可调并联短路线(22)的等效电长度, $\theta_3$ 为第三段电长度可调并联短路线(23)的等效电长度, $C_1$ 为第一变容二极管(113)的容值, $C_2$ 为第二变容二极管(123)的容值, $C_3$ 为第三变容二极管(133)的容值, $C_4$ 为第七变容二极管(31)的容值, $C_5$ 为第八变容二极管(32)的容值;

根据横跨定向耦合器的特性分别对偶模和奇模激励下的传输矩阵求解,可以得到横跨定向耦合器的设计公式,求解步骤如下:

步骤1:将偶模激励下的传输矩阵代入如下表达式,

$$A_e - D_e = 2k \cos \varphi$$

$$B_e / Z_0 - C_e \cdot Z_0 = 2k \sin \varphi$$

其中

$$\begin{aligned}
A_e &= \cos 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \sin 3\theta_1 \left( \frac{1}{2} \cot \theta_2 + \cot \theta_3 \right) \\
&\quad + Y_1^2 Z_{1e}^2 \cot \theta_2 \cot \theta_3 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1 \\
B_e &= j Z_{1e} \left( \sin 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \cot \theta_2 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1 \right) \\
C_e &= j \begin{pmatrix} Y_{1e} \sin 3\theta_1 - Y_1 \cot \theta_2 \cos^2 \frac{3}{2} \theta_1 \\ -Y_1 \left( \cos 3\theta_1 + \frac{Y_1 Z_{1e}}{2} \cot \theta_2 \sin 3\theta_1 \right) (\cot \theta_3 + \cot \theta_4) \\ -Y_1^2 Z_{1e} \cot \theta_3 \cot \theta_4 \left( \sin 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \cot \theta_2 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1 \right) \end{pmatrix} \\
D_e &= \cos 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \sin 3\theta_1 \left( \frac{1}{2} \cot \theta_2 + \cot \theta_4 \right) \\
&\quad + Y_1^2 Z_{1e}^2 \cot \theta_2 \cot \theta_4 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1
\end{aligned}$$

以  $\theta_3$  和  $Z_{1e}$  作为自由变量, 得到  $\theta_2$  和  $\theta_4$  的表达式为:

$$\theta_2 = \text{arc cot} \left( \frac{2k \cos \varphi}{(\cot \theta_3 - \cot \theta_4) \sin^2 3\theta_1 / 2} - \frac{\sin 3\theta_1}{\sin^2 3\theta_1 / 2} \right)$$

$$\theta_4 = \text{arc cot} \left( \left( -m_2 \pm \sqrt{m_2^2 - 4m_1 m_3} \right) / 2m_1 \right)$$

$$m_1 = -y_{1e} \left( \cos 3\theta_1 - \frac{\sin^2 3\theta_1}{2 \sin^2 3\theta_1 / 2} \right)$$

$$m_2 = y_{1e} \left( \frac{\sin 3\theta_1 + k \cos \varphi \sin 3\theta_1 / \sin^2 3\theta_1 / 2}{+ 2k \cos \varphi \cot \theta_3 + \frac{\sin 3\theta_1 \cos^2 3\theta_1 / 2}{\sin^2 3\theta_1 / 2}} \right) + 2k \sin \varphi$$

$$\begin{aligned}
m_3 &= -y_{1e} \left( \frac{\sin 3\theta_1 \cot \theta_3 \left( 1 - \frac{k \cos \varphi}{\sin^2 3\theta_1 / 2} + \frac{\cos^2 3\theta_1 / 2}{\sin^2 3\theta_1 / 2} \right)}{+ \cot^2 \theta_3 \left( \frac{\sin^2 3\theta_1}{2 \sin^2 3\theta_1 / 2} - \cos 3\theta_1 \right) - \frac{2k \cos \varphi \cos^2 3\theta_1 / 2}{\sin^2 3\theta_1 / 2}} \right) \\
&\quad - 2k \sin \varphi \cot \theta_3 + 2k z_{1e} \cos \varphi
\end{aligned}$$

画出  $\theta_3$  不同时,  $\theta_2$  和  $\theta_4$  随  $Z_{1e}$  的变化曲线, 可以选取最佳的变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗  $Z_{1e}$ ;

步骤2:求解奇模激励下的电路参数,得到如下表达式:

$$Z_{1o} = jC_e Z_0^2 \left/ \begin{array}{l} (\sin 3\theta_1 + b_{1o}(\cos 3\theta_1 - \cos 2\theta_1) + b_{2o}(\cos 3\theta_1 - 1) \\ + b_{1o}b_{2o}(\sin \theta_1 + \sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) + b_{3o}(\cos 3\theta_1 - \cos 2\theta_1) \\ + b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1 - 1 - 2\sin^2 \theta_1 + \cos 2\theta_1) \\ + b_{1o}b_{3o}(2\sin 2\theta_1 - \sin \theta_1 - \sin 3\theta_1) + b_{2o}b_{3o}(\sin \theta_1 + \sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) \end{array} \right.$$

$$b_{0o} = j \left/ \begin{array}{l} (b_{1o}(\sin 3\theta_1 - \sin 2\theta_1) + b_{2o} \sin 3\theta_1 - b_{3o}(\sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) \\ - b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 + \cos 2\theta_1 - 1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1) - b_{1o}b_{2o}(\cos \theta_1 + 2\sin^2 \theta_1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\sin 3\theta_1 - 3\sin \theta_1) - \cos 3\theta_1 - A_e \end{array} \right/ C_e Z_0^2$$

$$b_{4o} = j \left/ \begin{array}{l} (b_{1o}(\sin 3\theta_1 - \sin 2\theta_1) + b_{2o} \sin 3\theta_1 + b_{3o}(\sin 3\theta_1 + \sin 2\theta_1) \\ - b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 2\theta_1 + 1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1) - b_{1o}b_{2o}(\cos \theta_1 - 2\sin^2 \theta_1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\sin 3\theta_1 - 3\sin \theta_1) - \cos 3\theta_1 - D_e \end{array} \right/ C_e Z_0^2$$

其中

$$b_{0o} = 2\omega C_5 - Y_1 \cot \theta_4$$

$$b_{4o} = 2\omega C_4 - Y_1 \cot \theta_3$$

步骤3:选取适当的第一变容二极管(113)、第二变容二极管(123)和第三变容二极管(133)的容值 $C_1, C_2, C_3$ ,使 $Z_{1o}$ 小于 $Z_{1e}$ ,进一步得到第七变容二极管(31)容值 $C_4$ 和第八变容二极管(32)容值 $C_5$ 。

## 一种相位连续可调横跨定向耦合器

### 技术领域

[0001] 本发明属于电子技术领域,涉及一种微波器件,具体为一种相位连续可调横跨定向耦合器。

### 背景技术

[0002] 定向耦合器是一种用来分配或合成微波信号功率并具有定向耦合特性的微波/毫米波器件,被应用于信号的提取、功率的监测、源输出功率稳幅、传输和反射的扫频测试等。微带定向耦合器是一种平面结构的定向耦合器,可由印制电路板技术实现,具有体积小、易集成等特点。按照隔离端口相对于输入端口的位置,微带定向耦合器可分为同向、反向和横跨三种定向耦合器,具体为:如果输入端与直通端在同一条传输线上,耦合端与隔离端在另一条传输线上,且输入端与隔离端在同一侧,则构成同向耦合器;如果输入端与直通端在同一条传输线上,耦合端与隔离端在另一条传输线上,且输入端与耦合端在同一侧,则构成反向耦合器;如果输入端与隔离端在同一条传输线上,耦合端与直通端在另一条传输线上,且输入端与隔离端在同一侧,则构成横跨定向耦合器。

[0003] 微带横跨定向耦合器具有低成本、易加工、体积小的特点,同时由于其耦合端和直通端在一条传输线上,故当微带横跨定向耦合器应用于微波电路时,能够避免电路交叉,并简化了电路布局,因此,随着Butler矩阵和功率放大器的广泛研究与应用,微带横跨定向耦合器的研究受到了关注。但已报道的微带横跨定向耦合器输出端口间相位是固定的,如 $90^\circ$ 或 $60^\circ$ 等,限制了其在可调波束馈电网络及功率放大器中的应用。若实现横跨定向耦合器的相位连续可调,天线阵的波束指向可以灵活调节,功率放大器的效率也会被显著提高。目前,尚未发现相位连续可调的横跨定向耦合器。

### 发明内容

[0004] 本发明针对以上问题的提出,而研制一种相位连续可调横跨定向耦合器,包括变容二极管加载平行耦合线、电长度可调并联短路线、端部跨接变容二极管和四个50欧姆输入/输出端口;

[0005] 所述变容二极管加载平行耦合线包括第一段变容二极管加载平行耦合线、第二段变容二极管加载平行耦合线和第三段变容二极管加载平行耦合线;所述电长度可调并联短路线包括第一段电长度可调并联短路线、第二段电长度可调并联短路线和第三段电长度可调并联短路线;

[0006] 所述第一段变容二极管加载平行耦合线包括第一耦合线、第二耦合线和第一变容二极管;所述第二段变容二极管加载平行耦合线包括第三耦合线、第四耦合线和第二变容二极管;所述第三段变容二极管加载平行耦合线包括第五耦合线、第六耦合线和第三变容二极管;所述第一段电长度可调并联短路线包括第一固定长度并联短路线和第四变容二极管;所述第二段电长度可调并联短路线包括第二固定长度并联短路线和第五变容二极管;所述第三段电长度可调并联短路线包括第三固定长度并联短路线和第六变容二极管;所述

端部跨接变容二极管包括第七变容二极管和第八变容二极管；

[0007] 所述第一段电长度可调并联短路线与第一变容二极管加载平行耦合线的左端连接,第二段电长度可调并联短路线与第二变容二极管加载平行耦合线的中间连接,第三段电长度可调并联短路线与第三变容二极管加载平行耦合线的右端连接,所述第一变容二极管位于第一耦合线和第二耦合线的中间,所述第二变容二极管位于第三耦合线和第四耦合线的中间,所述第三变容二极管位于第五耦合线和第六耦合线的中间,所述第七变容二极管跨接在第一段变容二极管加载平行耦合线的左端,所述第八变容二极管跨接在第三段变容二极管加载平行耦合线的右端；

[0008] 所述第一段变容二极管加载平行耦合线、第一段变容二极管加载平行耦合线第三段变容二极管加载平行耦合线的电长度相同,所述第一固定长度并联短路线、第二固定长度并联短路线和第三固定长度并联短路线的特性阻抗与第一段变容二极管加载平行耦合线、第二段变容二极管加载平行耦合线和第三段变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗相同

[0009] 进一步地;所述横跨定向耦合器输出端口间相位可以连续调节。

[0010] 进一步地;通过调节第一变容二极管、第二变容二极管、第三变容二极管、第四变容二极管、第五变容二极管、第六变容二极管第七变容二极管和第八变容二极管的容值实现 $45^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 的相位连续调节。

[0011] 根据本发明推导出的公式可以实现输出端口间相位连续可调,同时可实现任意的功分比。由于采用了上述技术方案,本发明提供一种相位连续可调型横跨定向耦合器,具有易加工、体积小和低成本的特点,适于广泛推广。

## 附图说明

[0012] 图1是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器的结构示意图；

[0013] 图2是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器的偶模等效电路图；

[0014] 图3是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器的奇模等效电路图；

[0015] 图4是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器的S11和S31曲线；

[0016] 图5是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器的S21和S41曲线；

[0017] 图6是本发明所述相位连续可调型横跨定向耦合器输出端口间相位曲线。

[0018] 图中:11、第一段变容二极管加载平行耦合线,12、第二段变容二极管加载平行耦合线,13、第三段变容二极管加载平行耦合线,21、第一段电长度可调并联短路线,22、第二段电长度可调并联短路线,23、第三段电长度可调并联短路线,111、第一耦合线,112、第二耦合线,121、第三耦合线,122、第四耦合线,131、第五耦合线,132、第六耦合线,211、第一固定长度并联短路线,221、第二固定长度并联短路线,231、第三固定长度并联短路线,113、第一变容二极管,123、第二变容二极管,133、第三变容二极管,212、第四变容二极管,222、第五变容二极管,232、第六变容二极管,31、第七变容二极管,32、第八变容二极管。

## 具体实施方式

[0019] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明了,下面结合具体实施方式并参照附图,对本发明进一步详细说明。应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本发

明的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0020] 图1为本发明端接等复阻抗横跨定向耦合器结构示意图,本实例的横跨定向耦合器,可以包括;

[0021] 变容二极管加载平行耦合线、电长度可调并联短路线、端部跨接变容二极管和四个50欧姆输入/输出端口。其中变容二极管加载平行耦合线包括第一段变容二极管加载平行耦合线11、第二段变容二极管加载平行耦合线12第三段变容二极管加载平行耦合线13;所述电长度可调并联短路线包括第一段电长度可调并联短路线21、第二段电长度可调并联短路线22和第三段电长度可调并联短路线23;

[0022] 进一步地,第一段变容二极管加载平行耦合线11包括第一耦合线111、第二耦合线112和第一变容二极管113;第二段变容二极管加载平行耦合线12包括第三耦合线121、第四耦合线122和第二变容二极管123;第三段变容二极管加载平行耦合线13包括第五耦合线131、第六耦合线132和第三变容二极管133;第一段电长度可调并联短路线21包括第一固定长度并联短路线211和第四变容二极管212;第二段电长度可调并联短路线22包括第二固定长度并联短路线221和第五变容二极管222;第三段电长度可调并联短路线23包括第三固定长度并联短路线231和第六变容二极管232;端部跨接变容二极管包括第七变容二极管31和第八变容二极管32。

[0023] 进一步地,第一段电长度可调并联短路线21与第一变容二极管加载平行耦合线11的左端连接,第二段电长度可调并联短路线22与第二变容二极管加载平行耦合线12的中间连接,第三段电长度可调并联短路线23与第三变容二极管加载平行耦合线13的右端连接,第一变容二极管113位于第一耦合线111和第二耦合线112的中间,第二变容二极管123位于第三耦合线121和第四耦合线122的中间,第三变容二极管133位于第五耦合线131和第六耦合线132的中间,第七变容二极管31跨接在第一段变容二极管加载平行耦合线11的左端,第八变容二极管32跨接在第三段变容二极管加载平行耦合线13的右端。

[0024] 所述第一段变容二极管加载平行耦合线11、第二段变容二极管加载平行耦合线12和第三段变容二极管加载平行耦合线13的电长度相同,所述第一固定长度并联短路线211、第二固定长度并联短路线221和第三固定长度并联短路线231的特性阻抗与第一段变容二极管加载平行耦合线11、第二段变容二极管加载平行耦合线12和第三段变容二极管加载平行耦合线13的偶模特性阻抗相同

[0025] 进一步地,通过调节第一变容二极管113、第二变容二极管123、第三变容二极管133、第四变容二极管212、第五变容二极管222、第六变容二极管232第七变容二极管31和第八变容二极管32的容值实现 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 的相位连续调节。

[0026] 具体来说,本实施例中输入输出端口间的相位为 $\varphi$ ,其功分比为 $k = \frac{|S_{31}|}{|S_{41}|}$ ,可以实现两输出端口间的不同功分比。利用奇偶模分析法把耦合器的四端口网络转化为两个二端口网络进行分析,计算电路参量。

[0027] 偶模激励下,横跨定向耦合器对称面上的电流为零,等效为开路。图2给出了本发明横跨定向耦合器的偶模等效电路。 $Z_{1e}$ 为变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗, $Z_1$ 为电长度可调并联短路线的特性阻抗, $\theta_{1e}$ 为变容二极管加载平行耦合线的偶模电长度, $\theta_4$

为第一段电长度可调并联短路线21的等效电长度。 $\theta_4$ 与第一固定长度并联短路线211的电长度 $\theta_{4\_fix}$ 和第四变容二极管212的容值 $C_6$ 满足如下关系:

$$[0028] \quad \theta_4 = \text{arccot} (Z_1 \omega C_6 + \cot \theta_{4\_fix})$$

[0029]  $\theta_2$ 为第二段电长度可调并联短路线22的等效电长度, $\theta_2$ 与第二固定长度并联短路线221的电长度 $\theta_{2\_fix}$ 和第四变容二极管222的容值 $C_7$ 满足如下关系:

$$[0030] \quad \theta_2 = \arctan \frac{Z_1 \omega C_7 \cot \theta_{2\_fix} - 1}{Z_1 \omega C_7 + \cot \theta_{2\_fix}}$$

[0031]  $\theta_3$ 为第三段电长度可调并联短路线23的等效电长度, $\theta_3$ 与第三固定长度并联短路线231的电长度 $\theta_{3\_fix}$ 和第四变容二极管232的容值 $C_8$ 满足如下关系:

$$[0032] \quad \theta_3 = \text{arccot} (Z_1 \omega C_8 + \cot \theta_{3\_fix})$$

[0033] 奇模激励下,横跨定向耦合器对称面上的电压为零,等效为短路。图3给出了本发明横跨定向耦合器的奇模等效电路。 $Z_{1o}$ 为变容二极管加载平行耦合线的奇模特性阻抗, $Z_1$ 为电长度可调并联短路线的特性阻抗, $\theta_{1o}$ 为变容二极管加载平行耦合线的奇模电长度, $\theta_4$ 为第一段电长度可调并联短路线21的等效电长度, $\theta_2$ 为第二段电长度可调并联短路线22的等效电长度, $\theta_3$ 为第三段电长度可调并联短路线23的等效电长度。 $C_1$ 为第一变容二极管113的容值, $C_2$ 为第二变容二极管123的容值, $C_3$ 为第三变容二极管133的容值, $C_4$ 为第七变容二极管31的容值, $C_5$ 为第八变容二极管32的容值。

[0034] 由图2和图3的二端口网络可以得到两个传输矩阵,根据横跨定向耦合器的特性对两个传输矩阵求解,可以得到本发明横跨定向耦合器的设计公式,求解步骤如下:

[0035] 步骤1:将偶模激励下的传输矩阵代入如下表达式,

$$[0036] \quad A_e - D_e = 2k \cos \varphi$$

$$[0037] \quad B_e / Z_0 - C_e \cdot Z_0 = 2k \sin \varphi$$

[0038] 以第三段电长度可调并联短路线23的等效电长度 $\theta_3$ 和变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗 $Z_{1e}$ 作为自由变量,得到对应于不同输出端口间相位差的平行耦合线1的第一、二段电长度可调并联短路线22的等效电长度 $\theta_2$ 和 $\theta_4$ 的表达式为:

$$[0039] \quad \theta_2 = \text{arc cot} \left( \frac{2k \cos \varphi}{(\cot \theta_3 - \cot \theta_4) \sin^2 3\theta_1 / 2} - \frac{\sin 3\theta_1}{\sin^2 3\theta_1 / 2} \right)$$

$$[0040] \quad \theta_4 = \text{arc cot} \left( \left( -m_2 \pm \sqrt{m_2^2 - 4m_1 m_3} \right) / 2m_1 \right)$$

$$[0041] \quad m_1 = -y_{1e} \left( \cos 3\theta_1 - \frac{\sin^2 3\theta_1}{2 \sin^2 3\theta_1 / 2} \right)$$

$$[0042] \quad m_2 = y_{1e} \left( \frac{\sin 3\theta_1 + k \cos \varphi \sin 3\theta_1 / \sin^2 3\theta_1 / 2}{+ 2k \cos \varphi \cot \theta_3 + \frac{\sin 3\theta_1 \cos^2 3\theta_1 / 2}{\sin^2 3\theta_1 / 2}} \right) + 2k \sin \varphi$$

$$[0043] \quad m_3 = -y_{1e} \left( \begin{array}{l} \sin 3\theta_1 \cot \theta_3 \left( 1 - \frac{k \cos \varphi}{\sin^2 3\theta_1/2} + \frac{\cos^2 3\theta_1/2}{\sin^2 3\theta_1/2} \right) \\ + \cot^2 \theta_3 \left( \frac{\sin^2 3\theta_1}{2 \sin^2 3\theta_1/2} - \cos 3\theta_1 \right) - \frac{2k \cos \varphi \cos^2 3\theta_1/2}{\sin^2 3\theta_1/2} \end{array} \right)$$

$$[0044] \quad -2k \sin \varphi \cot \theta_3 + 2k z_{1e} \cos \varphi$$

[0045] 画出 $\theta_3$ 不同时, $\theta_2$ 和 $\theta_4$ 随 $Z_{1e}$ 的变化曲线,可以选取最佳的变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗 $Z_{1e}$ 。

[0046] 步骤2:将奇模激励下的传输矩阵代入如下表达式,

$$[0047] \quad A_e = -D_o$$

$$[0048] \quad B_e/Z_0 = -C_o \cdot Z_0$$

$$[0049] \quad C_e \cdot Z_0 = -B_o/Z_0$$

$$[0050] \quad D_e = -A_o$$

[0051] 其中

$$[0052] \quad A_e = \cos 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \sin 3\theta_1 \left( \frac{1}{2} \cot \theta_2 + \cot \theta_3 \right) \\ + Y_1^2 Z_{1e}^2 \cot \theta_2 \cot \theta_3 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1$$

$$[0053] \quad B_e = j Z_{1e} \left( \sin 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \cot \theta_2 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1 \right)$$

$$[0054] \quad C_e = j \left( \begin{array}{l} Y_{1e} \sin 3\theta_1 - Y_1 \cot \theta_2 \cos^2 \frac{3}{2} \theta_1 \\ -Y_1 \left( \cos 3\theta_1 + \frac{Y_1 Z_{1e}}{2} \cot \theta_2 \sin 3\theta_1 \right) (\cot \theta_3 + \cot \theta_4) \\ -Y_1^2 Z_{1e} \cot \theta_3 \cot \theta_4 \left( \sin 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \cot \theta_2 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1 \right) \end{array} \right)$$

$$[0055] \quad D_e = \cos 3\theta_1 + Y_1 Z_{1e} \sin 3\theta_1 \left( \frac{1}{2} \cot \theta_2 + \cot \theta_4 \right) \\ + Y_1^2 Z_{1e}^2 \cot \theta_2 \cot \theta_4 \sin^2 \frac{3}{2} \theta_1$$

[0056] 以第一变容二极管113、第二变容二极管123和第三变容二极管133的容值, $C_1, C_2, C_3$ 为自由变量,可以得到变容二极管加载平行耦合线的奇模特性阻抗 $Z_{1o}$ ,第七变容二极管31容值 $C_4$ 和第八变容二极管32容值 $C_5$ 的表达式:

$$[0057] \quad Z_{1o} = jC_e Z_0^2 \left/ \begin{array}{l} (\sin 3\theta_1 + b_{1o}(\cos 3\theta_1 - \cos 2\theta_1) + b_{2o}(\cos 3\theta_1 - 1) \\ + b_{1o}b_{2o}(\sin \theta_1 + \sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) + b_{3o}(\cos 3\theta_1 - \cos 2\theta_1) \\ + b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1 - 1 - 2\sin^2 \theta_1 + \cos 2\theta_1) \\ + b_{1o}b_{3o}(2\sin 2\theta_1 - \sin \theta_1 - \sin 3\theta_1) + b_{2o}b_{3o}(\sin \theta_1 + \sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) \end{array} \right.$$

$$[0058] \quad b_{0o} = j \left( \begin{array}{l} b_{1o}(\sin 3\theta_1 - \sin 2\theta_1) + b_{2o} \sin 3\theta_1 - b_{3o}(\sin 2\theta_1 - \sin 3\theta_1) \\ - b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 + \cos 2\theta_1 - 1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1) - b_{1o}b_{2o}(\cos \theta_1 + 2\sin^2 \theta_1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\sin 3\theta_1 - 3\sin \theta_1) - \cos 3\theta_1 - A_e \end{array} \right) \left/ C_e Z_0^2 \right.$$

$$[0059] \quad b_{4o} = j \left( \begin{array}{l} b_{1o}(\sin 3\theta_1 - \sin 2\theta_1) + b_{2o} \sin 3\theta_1 + b_{3o}(\sin 3\theta_1 + \sin 2\theta_1) \\ - b_{2o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 2\theta_1 + 1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{3o}(\cos \theta_1 - \cos 3\theta_1) - b_{1o}b_{2o}(\cos \theta_1 - 2\sin^2 \theta_1 - \cos 3\theta_1) \\ - b_{1o}b_{2o}b_{3o}(\sin 3\theta_1 - 3\sin \theta_1) - \cos 3\theta_1 - D_e \end{array} \right) \left/ C_e Z_0^2 \right.$$

[0060] 其中

$$[0061] \quad b_{0o} = 2\omega C_5 - Y_1 \cot \theta_4$$

$$[0062] \quad b_{4o} = 2\omega C_4 - Y_1 \cot \theta_3$$

[0063] 步骤3:选取适当的第一变容二极管113、第二变容二极管123和第三变容二极管133的容值 $C_1, C_2, C_3$ ,使变容二极管加载平行耦合线的奇模特性阻抗 $Z_{1o}$ 小于变容二极管加载平行耦合线的偶模特性阻抗 $Z_{1e}$ ,进一步得到第七变容二极管31容值 $C_4$ 和第八变容二极管32容值 $C_5$

[0064] 在本发明的具体实施例中,该横跨定向耦合器的中心频率为1.6GHz,耦合度为3dB(功分比 $k=1$ )根据上述公式和求解步骤,得到对应不同输出端口间相位差的电路参数值,如表1所示。

[0065] 表1对应不同输出端口间相位差的电路参数值

$\varphi$ (°)	45	60	75	105	120	135
$Z_{1e}$ ( $\Omega$ )	120	120	120	120	120	120
$Z_{1o}$ ( $\Omega$ )	80	80	80	80	80	80
$\theta_1$ (°)	30	30	30	30	30	30
$\theta_3$ (°)	70	65	60	90	115	140
$\theta_2$ (°)	108.2	95.7	92.2	91.7	95.5	106.3
$\theta_4$ (°)	143.1	120.5	87.2	62.2	59.6	64.9
$C_1$ (pF)	1.2	1.2	1.1	1.2	0.9	0.9
$C_2$ (pF)	1.66	1.68	1.50	1.52	1.66	1.70
$C_3$ (pF)	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9
$C_4$ (pF)	3.81	2.93	2.36	0.89	0.70	0.69
$C_5$ (pF)	0.83	0.81	1.00	2.60	2.96	3.61

[0067] 根据所得的特性阻抗、电长度与变容二极管容值设计本发明的相位连续可调型横跨定向耦合器。如图4-图6所示,本实施例的相位连续可调型横跨定向耦合器的相位可调范围为 $45^\circ \sim 135^\circ$ 。且在相位调节时,中心频点处的回波损耗和隔离度均大于20dB,耦合度为 $3.5 \pm 0.5$ dB。

[0068] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

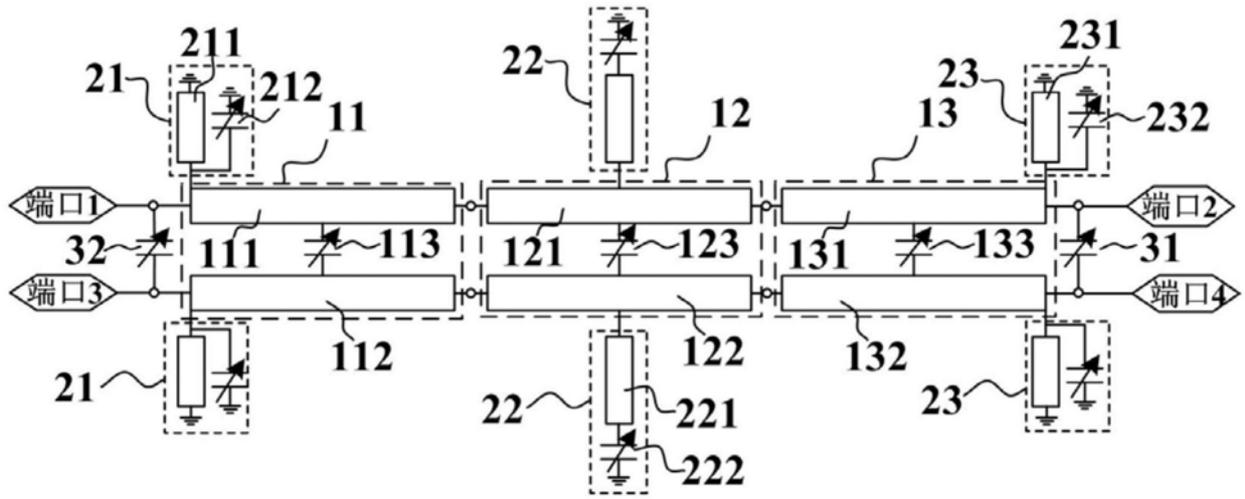


图1

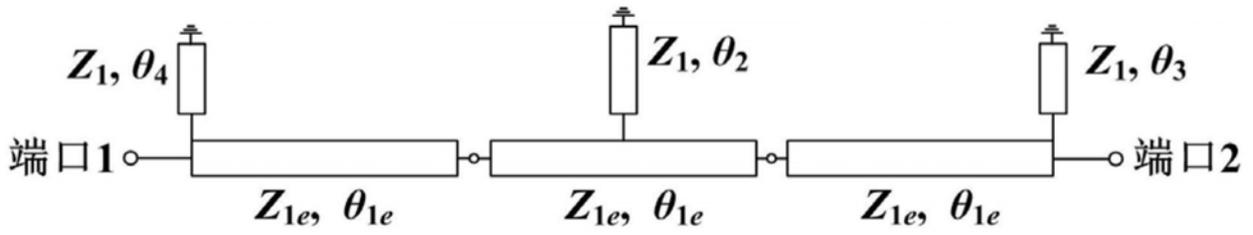


图2

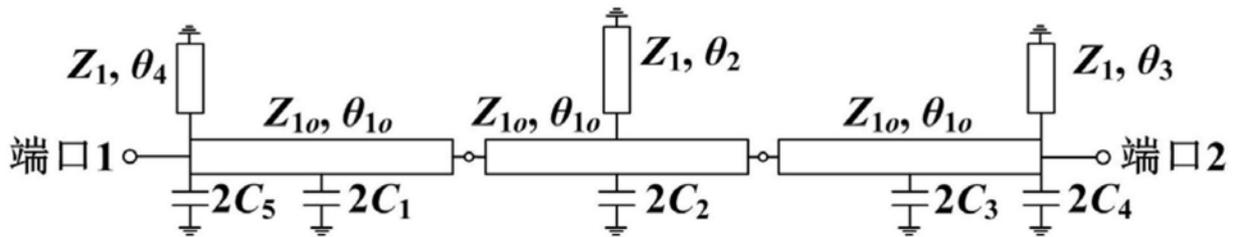


图3

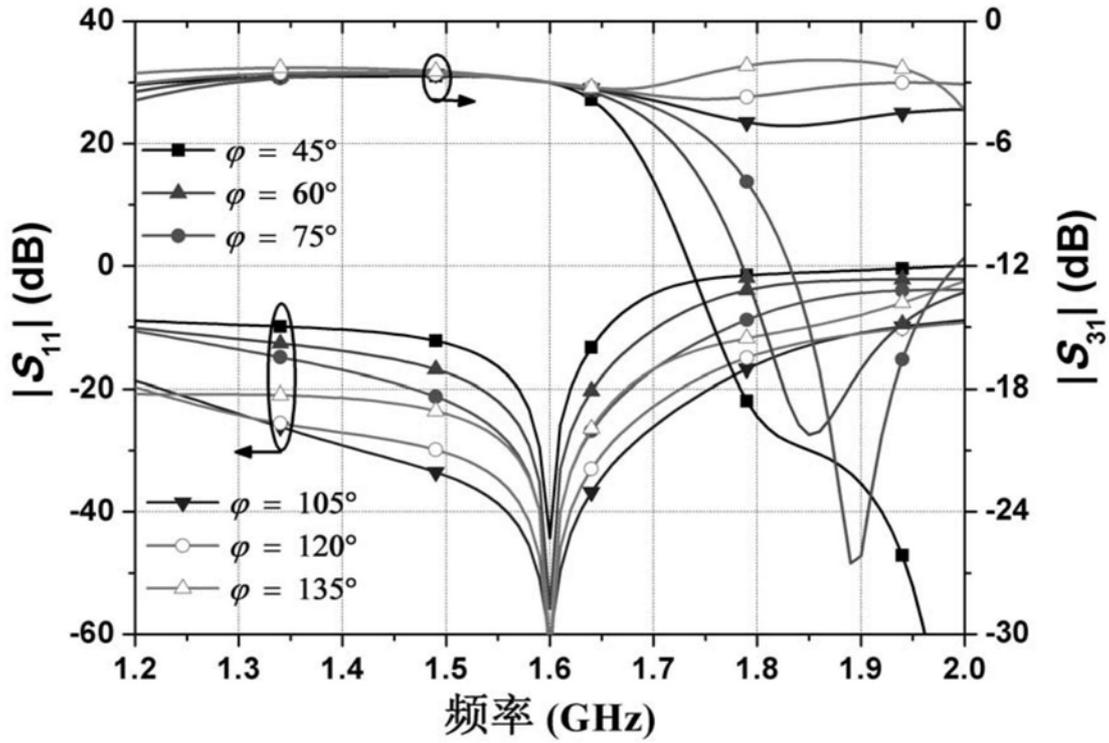


图4

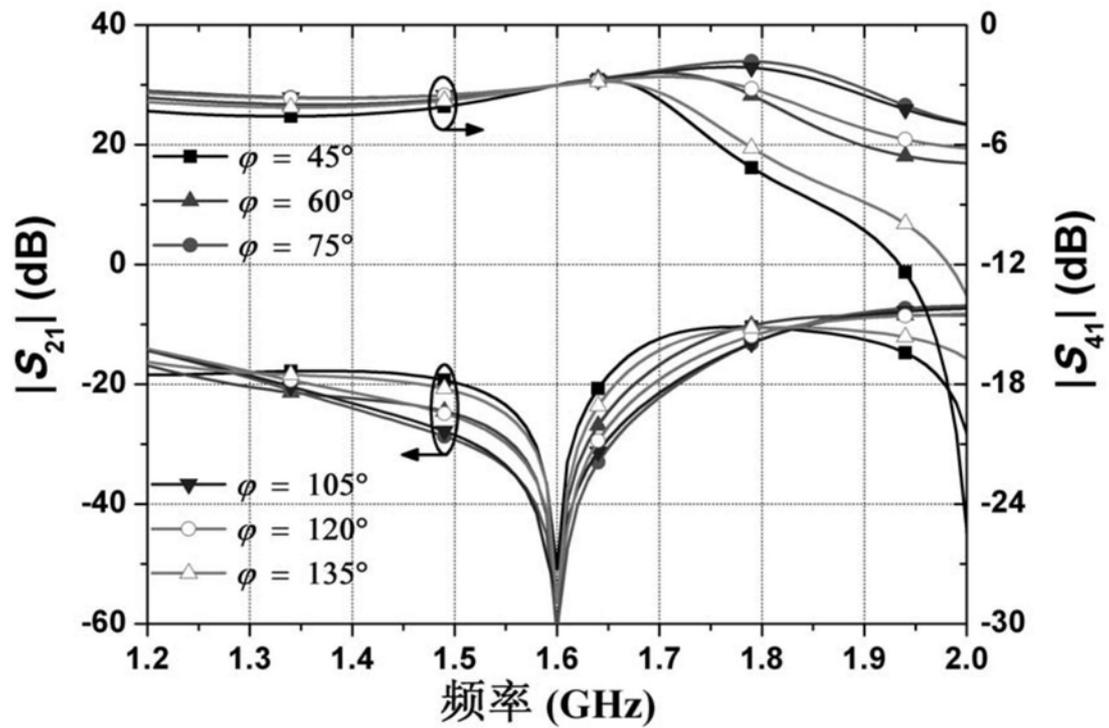


图5

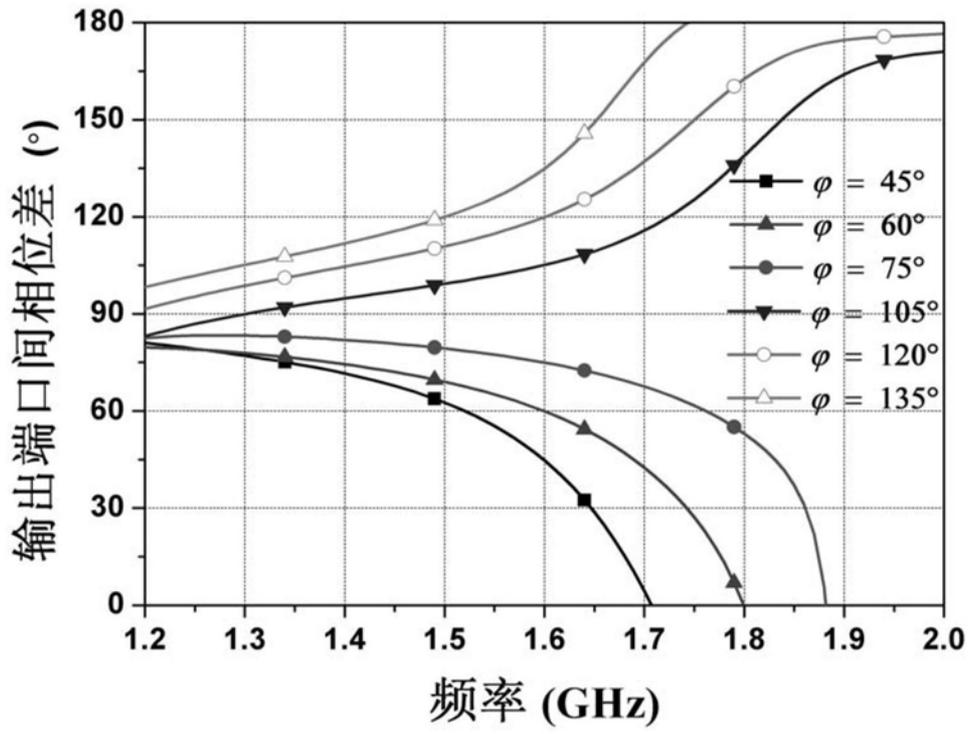


图6