

文章编号: 2096-1618(2024)02-0138-04

12 ~ 26.5 GHz 超宽带小型化功分器设计

左佳文, 文继国

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都, 621505)

摘要:针对传统功分器尺寸大、带宽窄并且难以用于集成,基于GaAs工艺设计一款超宽带两路等分功分器芯片。芯片采用两节威尔金森结构,用低通 Π 模型替换四分之一波长微带分支线,实现了功分器宽频带及小型化,芯片尺寸为1.75 mm×0.86 mm,在12 ~ 26.5 GHz工作频率范围内,插入损耗小于3.65 dB,回波损耗小于15 dB,隔离度大于17 dB。此外,芯片采用片上通孔金属化工艺保证良好接地,不需要额外接地措施,使用简单方便,背面采用金属化处理,适用于共晶烧结或导电胶粘结工艺。

关键词:超宽带;小型化;功分器

中图分类号:TN626

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.02.002

0 引言

功率分配器广泛应用于相控阵雷达中,将发射信号分配到天线单元以及将来自天线单元的接收信号合路后传输到接收机,功分器的性能直接影响系统的整体性能^[1]。传统的功率分配器带宽有限、尺寸较大,需要针对不同的系统开发对应的功率分配器,无法满足未来射频通信系统超宽带、多功能、小型化的需求。

近年来,宽带、小型化功率分配器的研究和开发取得了重大进步,目前主要存在的问题仍然是带宽窄、尺寸较大且各指标特性难以同时兼顾。

在研究射频无源器件的特性的基础上,基于GaAs工艺,设计和开发超宽带、小型化的功率分配器,使射频无源器件具有超宽带工作的电路性能特性,进而有益于射频通信系统的集成,实现无源器件小型化和超宽带化的有机统一。

1 功率分配器结构

功率分配器主要分为微带功分器、波导功分器以及SIW功分器,微带功分器又分为T型功分器、Wilkinson功分器与电阻型功分器^[2]。Wilkinson功分器具有良好的幅度与相位特性,使用级联形式的多级威尔金森功分器能够拓展带宽,且输出端口之间具有良好的隔离度。单节威尔金森功分器结构如图1所示。

Z_0 为输入端与输出端之间微带线的特征阻抗,分支线的长度均为四分之一波长,输入信号从端口1进入,经过相等电长度的分支线后,从输出端口2和输出端口3输出等功率、同相位的两路信号。理想状态下,

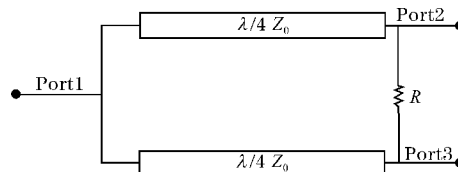


图1 单节 Wilkinson 功分器

电阻 R 上电流为零,无功率损耗。当输出端口3或输出端口2不满足匹配时,反射波经电阻 R 折回到达端口2,其中一部分沿分支线到达端口1再反射回来,最后沿另一分支线到达端口2。选择合适的隔离电阻能使两路信号的相位差 180° ,等幅反相,从而相互抵消,实现输出端口间的相互隔离。

2 传输线等效

多节结构能够获得较宽的带宽,但多节结构同时增大了功分器的尺寸。为实现功分器的小型化,需要研究电路的实现方法,建立电路模型进行仿真验证,通过对电路的结构和参数进行调整优化,获得所需的性能。

功率分配器中的电阻采用薄膜电阻工艺,显著减小电阻尺寸,且该工艺电阻具有精确的阻值。四分之一波长传输线可以采用集总器件进行等效。常见的集总电路有高通和低通的 Π 型和T型,按照电路具有相同的 $[A]$ 矩阵等效来获得集总参数等效电路^[3]。

低通模型如图2所示,分别为低通 Π 型和低通T型。

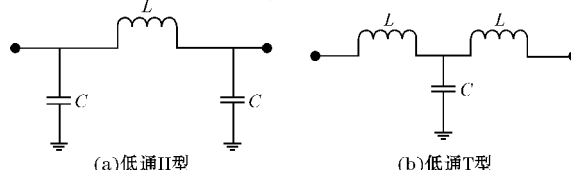


图2 低通等效电路

电长度为 θ , 特征阻抗为 Z_0 的则该传输线的 $[A]$ 矩阵为:

$$[A] = \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ_0\sin\theta \\ j\frac{1}{Z_0}\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

由图 2 所示的电路结构, 得到低通 Π 型和低通 T 型的 $[A]$ 矩阵为:

$$[A]_{\text{低通}\Pi\text{型}} = \begin{bmatrix} 1-\omega^2 LC & j\omega L \\ j\omega C(2-\omega^2 LC) & 1-\omega^2 LC \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[A]_{\text{低通T型}} = \begin{bmatrix} 1-\omega^2 LC & j\omega L(2-\omega^2 LC) \\ j\omega C & 1-\omega^2 LC \end{bmatrix} \quad (3)$$

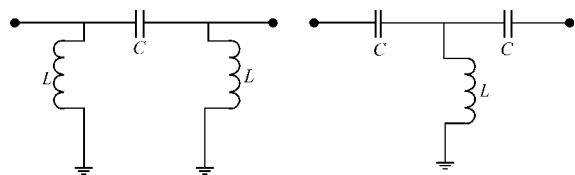
联立式(1)、(2)、(3), 即可分别解得低通 Π 型和低通 T 型中 L 和 C 的值。

高通 Π 模型和高通 T 模型等效电路如图 3 所示, 同理可得到高通 Π 型和高通 T 型的 $[A]$ 矩阵分别为:

$$[A]_{\text{高通}\Pi\text{型}} = \begin{bmatrix} 1-\frac{1}{\omega^2 LC} & \frac{1}{j\omega L} \\ \frac{1}{j\omega L}(2-\frac{1}{\omega^2 LC}) & 1-\frac{1}{\omega^2 LC} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[A]_{\text{高通T型}} = \begin{bmatrix} 1-\frac{1}{\omega^2 LC} & \frac{1}{j\omega L}(2-\frac{1}{\omega^2 LC}) \\ \frac{1}{j\omega L} & 1-\frac{1}{\omega^2 LC} \end{bmatrix} \quad (5)$$

联立式(1)、(4)、(5)求解, 得高通 Π 型和高通 T 型中 L 和 C 的值。



(a) 高通 Π 型 (b) 高通 T 型

图 3 高通等效电路

3 功分器电路设计

根据威尔金森功分器级联与传输线等效理论, 采用两节威尔金森结构, 选择考虑寄生参数后的电容及绕线电感搭建低通 Π 型等效电路, 替换原理图中较长微带线, 结合电磁仿真软件, 经过多次仿真优化, 在满足设计指标的范围内, 功分器尺寸明显缩小, 原理图如图 4 所示。

低通 Π 型等效电路两并联电容在优化过程中, 容值太小, 且对电路性能无明显影响, 将电容去掉。在优化过程中, 不断尝试对电路进行改进, 发现在第二级电阻两端串联电容 C 能有效提高两输出端口隔离度, 且对其他指标无影响^[4]。

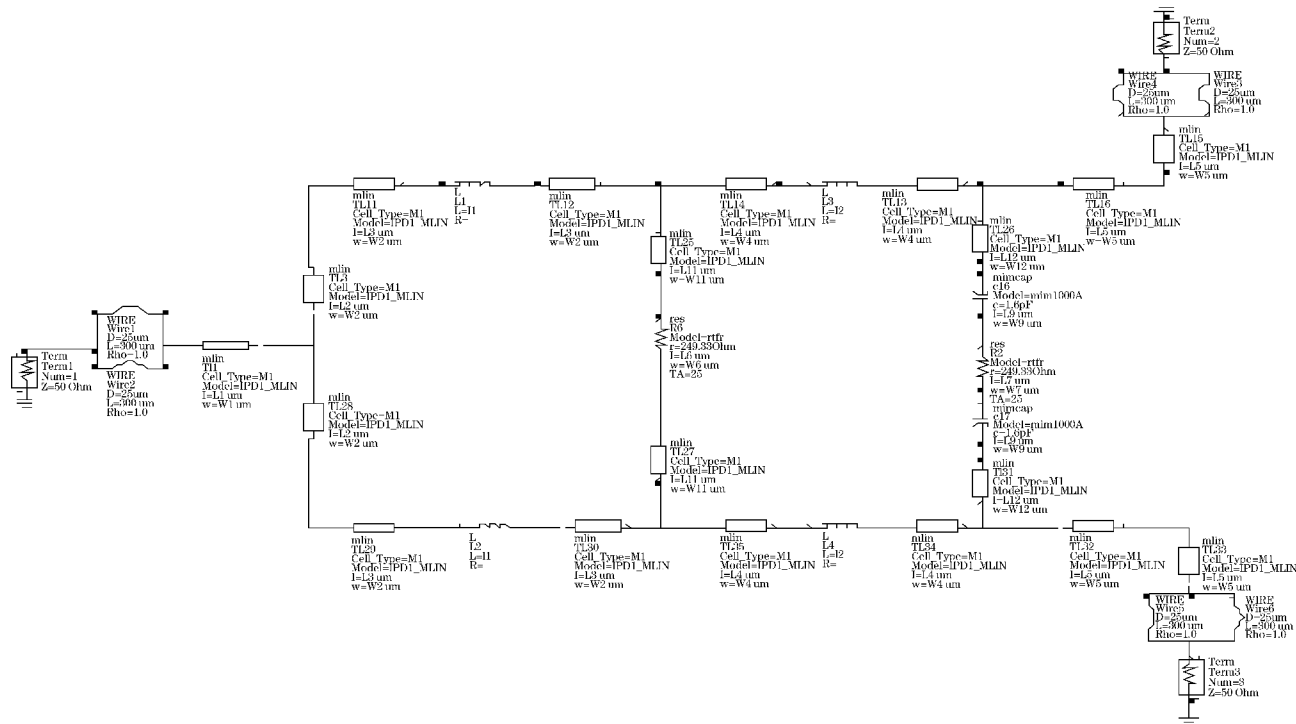


图 4 功分器原理图

设计过程中, 所用 PDK 库中元件均为非理想器件, 各器件均考虑实际损耗等参数。将原理图中的微带线、电容、电感以及电阻替换为版图元件, 经过多次

调整和优化后, 设计电路版图如图 5 所示, 尺寸为 $1.75 \text{ mm} \times 0.86 \text{ mm}$ 。

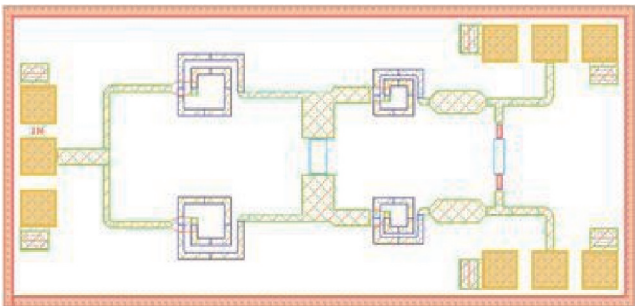
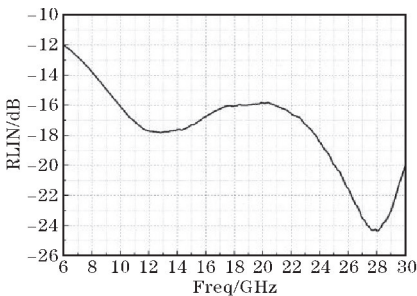


图 5 功分器版图

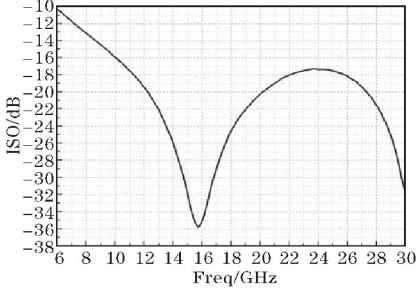
对电路版图进行仿真验证,考虑到实际使用需求,在版图仿真时,各端口接两根直径 $25\text{ }\mu\text{m}$ 、长度 $300\text{ }\mu\text{m}$ 的金丝线,输入、输出端口接 GSG 焊盘,焊盘尺寸 $100\text{ }\mu\text{m}\times 100\text{ }\mu\text{m}$,间距 $150\text{ }\mu\text{m}$,用于射频探针测试数据。

4 测试结果

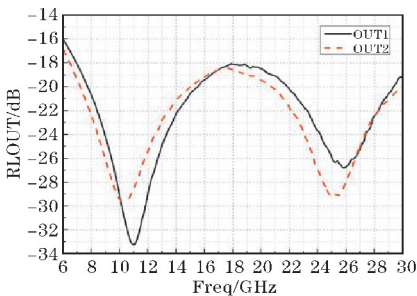
功分器芯片支路微带线宽最小 $22\text{ }\mu\text{m}$,采用双层



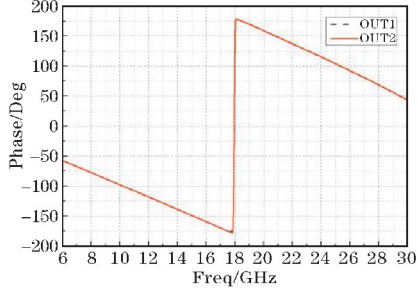
(a)输入回波损耗



(d)隔离度

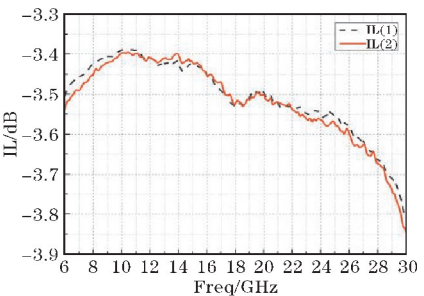
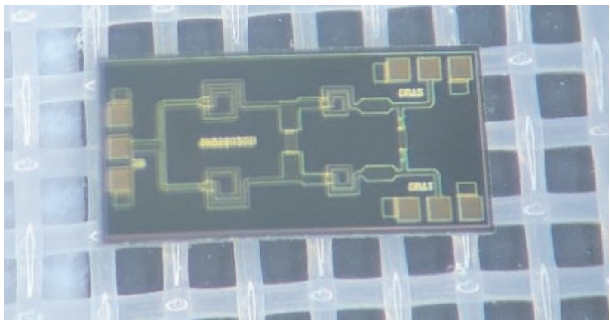


(b)输出回波损耗

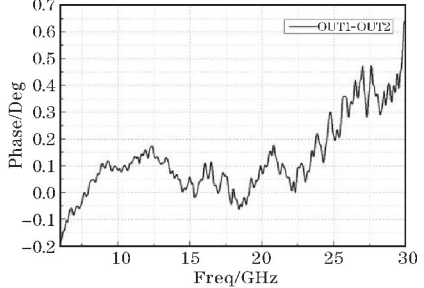


(e)输出端口相位

图 6 显微镜下芯片裸片



(c)插入损耗



(f)输出端口相位差

图 7 功分器测试结果

测试性能如表 2 所示,功分器工作频带宽,且在带外性能良好,隔离度小于 17 dB ,插损小于 3.65 dB ,回波损耗小于 15 dB ,均满足指标。两输出端口相位差小于 0.4° ,具有优良的相位特性,最大输入射频功率为

金属, MET1 允许通过最大电流 $1\text{ mA}/\mu\text{m}$, MET2 允许通过最大电流为 $3\text{ mA}/\mu\text{m}$,芯片共有 10 层图层,衬底为 $100\text{ }\mu\text{mGaAs}$ 。显微镜下芯片裸片如图 6 所示,常温($25\text{ }^\circ\text{C}$)测试结果如图 7 所示,极限参数见表 1。

表 1 极限参数

射频输入功率	储存温度	工作温度	静电防护等级
+35 dBm	$-65\text{ }^\circ\text{C}\sim +150\text{ }^\circ\text{C}$	$-55\text{ }^\circ\text{C}\sim +125\text{ }^\circ\text{C}$	Class 1A

+35 dBm。同其他类似功分器相比较(表 3),具有优良的插损及回波损耗,工作带宽较宽,且尺寸相对较小,能够替代传统窄带大尺寸的功分器。

表 2 测试性能

参数	设计指标	测试性能	单位	是否满足指标
频率范围	12 ~ 26.5	12 ~ 26.5	GHz	是
插入损耗	12 ~ 20 GHz	3.7 ~ 4.0	dB	是
	20 ~ 26.5 GHz	3.9 ~ 4.4	dB	是
插损波动	± 0.3	± 0.3	dB	是
隔离度	< -15	< -17	dB	是
输入回波损耗	< -13	< -15	dB	是
输出回波损耗	< -15	< -18	dB	是

表 3 与其他类似功分器性能比较

方法	频率范围 /GHz	插入损耗 /dB	插损波动 /dB	输入回波 损耗/dB	输出回波 损耗/dB	隔离度 /dB	尺寸/mm
本研究	12~26.5	<3.65	±0.3	<-15	<-18	<-17	1.75×0.86
文献[5]	20~30	<4	±0.5	<-15	<-15	<-20	0.9×0.7
文献[6]	2~8	<3.5	±0.4	<-15	<-15	<-20	—
文献[7]	6~18	<4.2	—	<-13	<-13	<-13	6×6
文献[8]	2.4~6	<4.2	±0.8	<-15	<-17	<-16	1.4×1
文献[9]	1~18	<3.7	±0.6	<-15	<-15	<-20	8×3

5 结束语

通过 ADS 电磁仿真软件仿真、设计了一款基于 Wilkinson 结构的两路等公分超宽带功分器。同时结合 GaAs 工艺和微带线等效理论实现了功分器的小型化设计,在频带范围内有较低的插损和良好的回波损耗,满足设计指标与实用价值。同时为无源器件小型化、宽带化以及射频芯片国产化设计提供了参考价值和指导意义。

参考文献:

[1] 严浩嘉,基于 LTCC 技术的超宽带巴伦的研究与设[D]. 南京:南京理工大学,2019.

[2] 赵克玉,徐福永.微波原理与技术[M]. 北京:高

等教育出版社,2006.

[3] 杨华菊. 基于 LTCC 和薄膜技术的小型化宽带功分器设计技术[D]. 南京:东南大学,2018.

[4] 黄玉兰. ADS 射频电路设计基础与典型应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.

[5] 韦雪真,白银超,王朋,等. 基于 GaAs 衬底的功分器芯片设计[J]. 电声技术,2022,46(10):121-123.

[6] 杨晶晶,雒寒冰,张红英,等. 一种超宽带功分器的设计[J]. 软件,2021,42(2):144-146.

[7] 倪大海,陈坤. 基于基片集成同轴线的 6~18 GHz 功分器设计[J]. 舰船电子对抗,2020,43(6):110-114.

[8] 周歆杰. 基于集成无源器件的小型化宽带功分器的设计[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2022.

[9] 杜姗姗,杨青慧,张怀武. 1~18 GHz 超宽带功分器的设计[J]. 压电与声光,2017,39(4):498-500.

Design of 12-26.5 GHz Ultra-Wideband Miniaturized Power Divider

ZUO Jiawen, WEN Jiguo

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract:To address the large size, narrow bandwidth, and difficulty in integrating traditional power dividers, an ultra-wideband two-channel equal power divider chip is designed based on the GaAs process. The chip features a two-section Wilkinson structure and utilizes a low-pass Π model to replace the quarter-wavelength microstrip branch line, realizing the broadband and miniaturization of the power divider. The chip size is 1.75 mm×0.86 mm, within the operating frequency range of 12-26.5 GHz, the insertion loss is less than 3.65 dB, the return loss is less than 15 dB, and the isolation degree is greater than 17 dB. In addition, the chip adopts an on chip through-hole metallization process to ensure good grounding without the need for additional grounding measures. It is simple and convenient to use, and its back is metalized, making it suitable for eutectic sintering or conductive adhesive bonding processes.

Keywords: ultra-wideband; miniaturization; power divider