

薄膜电阻对微带均衡器的影响研究

赵 瑛 周东方 张德伟 牛忠霞
(信息工程大学信息工程学院 郑州 450002)

摘要: 为了使微带均衡器满足衰减特性与给定的误差曲线逐点拟和的要求,就必须使其频率可调、衰减可调、品质因数可调。因此,本文通过大量仿真和实验,研究了加载了薄膜电阻的微带谐振器及其在微带均衡器中的应用,研究分析了薄膜电阻对微带均衡器传输特性及驻波特性的影响。研究结果表明将薄膜电阻加载到微带谐振器上构造微带均衡器,可以通过改变谐振器的尺寸使其频率可调,通过改变电阻阻值及位置使其衰减可调、品质因数可调。大量 HFSS 仿真及实验证明这种方式很适合微带均衡器的设计制造。本文利用这种结构设计制作出了一个宽带微带均衡器,得到了很好的实验结果。

关键词: 微带均衡器; 微带谐振器; 电阻加载; 品质因数; HFSS; VSWR

中图分类号: TN715, TN62

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)11-2751-03

Study on the Thin-Film Resistor Influence on Microstrip Equalizer

Zhao Ying Zhou Dong-fang Zhang De-wei Niu Zhong-xia

(Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to make the microstrip equalizer matches the given attenuation curve respectively, it should be attenuation adjustable and quality factor adjustable besides frequency adjustable. So in this paper, the novel thin-film resistor loaded microstrip resonator and its application to microstrip equalizer are investigated through numerical simulations and experiments, and the influence of thin-film resistor for microstrip equalizer's transmission and standing wave character is studied. The results showed that the microstrip equalizer can be frequency adjustable by changing the dimension of the microstrip resonator and it can be attenuation adjustable and quality factor adjustable by changing the location and resistance of the loaded thin-film resistors. The High Frequency Structure Simulator (HFSS) was used to simulate this thin-film resistor loaded resonator. Simulation and experiment results show that this thin-film resistor loaded resonator is suitable to microstrip equalizer. Finally a microstrip equalizer composed of this thin-film resistor loaded resonator is designed, fabricated and good results are obtained in the experiment.

Key words: Microstrip equalizer; Microstrip resonator; Resistor loaded; Quality factor; HFSS; VSWR

1 引言

均衡器是用来补偿放大器非线性增益所引起的输出幅度的不平坦度的,在军事电子装备和高精度微波测量系统中有着广泛的应用。当放大器输出幅度相应起伏不太大时,通常采用无源均衡器。例如,行波管放大器,它具有极大的工作带宽,频带内饱和输出功率波动 1dB 左右,增益呈共振曲线形状,曲线起伏不多,但却有较大的落差。为了实现等激励工作,放大器的输入端必须加入幅度均衡器,输入信号功率经均衡器校正后,不仅满足了放大器对输入信号的要求,而且输出功率的平坦性也得到了改善。放大器对均衡器的要求:频带内满足特定的幅度响应,同时对源和负载要求匹配良好。一般反馈电路总会反射不需要的功率到源,使

得源和负载失配,解决这个问题就需要利用一个具有两个耦合和两个均衡电路的平衡结构来抵消这部分反馈。通常,吸收型的均衡器是利用有耗元件吸收不需要的反射功率,来达到源和负载的良好匹配。目前有很多关于均衡器的文章都是一些用波导或是同轴线谐振器构造的,但这种结构往往太重太大不适合用于天线或小型雷达系统。

为了减小均衡器的尺寸,人们将更多的注意投入到平面结构上,开始对微带均衡器越来越感兴趣。平面的微带谐振器因此得到了广泛的应用^[1]。但是,众所周知,平面结构一旦做好后,它的可调节因素就是很有限的。为了使其方便可调,从而与给定的衰减曲线逐点拟和,本文选择了利用在谐振器上加载电阻的方法来构造微带均衡器。用这种方法构造的微带均衡器实现了不仅频率可调,而且衰减可调、品质因数可调。我们对加载电阻的位置和阻值对均衡器设计的影响

作了大量的仿真和试验研究, 得出结论, 这是设计微带均衡器的一种很好的方法。

文章中给出了一个利用加载电阻的微带枝节谐振器构造的宽带微波集成均衡器。它的衰减特性很好地补偿了行波管放大器(TWTA)的非线性输出, 进一步证明了在谐振器上加载薄膜电阻这种方法很适合微带均衡器的设计。

2 基本结构与公式

图 1 给出了这类均衡器的基本结构。它是将一个加载了电阻的微带谐振器耦合到微带线上, 特性阻抗为 Z_0 。典型的谐振器是由半波长传输线构成的, 所以这种结构具有简单的结构和高的品质因数。当我们在谐振器上加载了薄膜电阻并将其用于构造均衡器时, 它的等效电路如图 2^[2]。图中 C 为谐振电路的等效电容, L 为谐振电路的等效电感, R 为谐振电路的等效电阻。

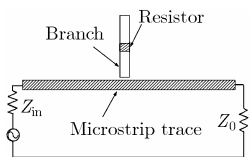


图 1 加载了薄膜电阻的微带谐振器

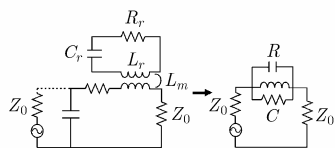


图 2 等效电路

所有这些参数都与谐振器的长度、宽度、以及耦合距离有关。耦合因子 β 定义为谐振频率处的耦合电阻和谐振器的外部阻抗之比^[3]:

$$\beta = \frac{R}{2Z_0} = \frac{S_{11_0}}{1 - S_{11_0}} = \frac{1 - S_{21_0}}{S_{21_0}} = \frac{S_{11_0}}{S_{21_0}} \quad (1)$$

其中 S_{11_0} 和 S_{21_0} 是实数分别反映了系统的反射和传输特性。而耦合因子 β 则是谐振器与微带线之间的距离的函数。它同时也和不同的品质因数相关。

$$Q_u = Q_L(1 + \beta) = \beta Q_{ex} \quad (2)$$

其中 Q_u , Q_L 和 Q_{ex} 分别表示未载、负载以及外部的品质因数。定义频率偏差为 $\delta = (f - f_0)/f_0$, 则输入阻抗可以写为^[4]

$$Z_{in} = Z_0 + R/(1 + j2Q_u\delta) \quad (3)$$

归一化输入阻抗为 $z_{in} = Z_{in}/Z_0$, 如果归一化频率偏差为 $\delta_L = \pm 1/(2Q_L)$ 则式(3)可变为

$$(z_{in})_L = 1 + 2\beta/[1 \pm j(1 + \beta)] \quad (4)$$

根据微带理论^[5],

$$S_{21_L} = 2/[(z_{in})_L + 1] \quad (5)$$

将式(4)代入得

$$S_{21_L} = \left(\sqrt{\frac{1 + S_{21_0}^2}{2}} e^{\pm j \tan^{-1} \left(\frac{1 - S_{21_0}}{1 + S_{21_0}} \right)} \right) \quad (6)$$

由式(1)得 S_{21_L} 与 R 的关系为

$$S_{21_L} = \sqrt{\frac{(R + 2Z_0)^2 + 4Z_0^2}{2(R + 2Z_0)^2}} e^{\pm j \tan^{-1} \left(\frac{R}{R + 4Z_0} \right)} \quad (7)$$

由式(7)可以看到如果在谐振器上加载电阻时, 通过改变 R 的阻值就可以调节传输参数, 这样就可以得到可衰减以及可调的品质因数。

3 分析与结论

在分析电阻对这种结构的影响时, 我们同时分析了电阻的加载位置和阻值对它的影响。图 3, 图 4 给出了两种电阻不同加载位置时耦合到 50 Ω 微带线上的时的布局。图 3 中电阻加载在耦合端, 图 4 中电阻加载在枝节谐振器的中间。

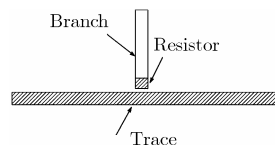


图 3 电阻加载在谐振器耦合端的结构

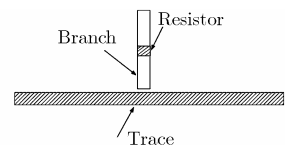


图 4 电阻加载在谐振器中间耦合端的结构

两者都是选择用聚四氟乙烯基板, 板厚 $h = 0.504$, 介质介电常数 $\epsilon_r = 2.55$ 。利用 Ansoft 公司的高频仿真软件 (HFSS) 来作仿真分析。仿真结果由图 5, 图 6, 图 7, 图 8 给出, 从仿真结果很明显地看出加载了电阻后谐振器不仅频率可调, 而且衰减可调、品质因数可调。它的频率可以通过改变谐振器的枝节的长度来改变, 从图 9 可以看到当改变谐振器的尺寸时, 可以调谐谐振频率, 但此时衰减量是保持不变的。而当改变电阻值的时候, 谐振频率是不变的, 而此时的衰减量、驻波特性是变化的。

图 5, 图 6 是将电阻加载在枝节谐振器耦合端和其中间时的传输参数。可以看到改变电阻值谐振频率是不变的, 但此时品质因数是变化的。这是因为当阻值不断变大的时候, 整个结构的能量损耗不断变大, 谐振电路的品质因数因此不

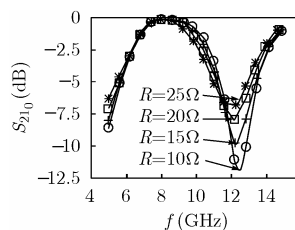


图 5 调节耦合端电阻时的 S_{21_0} 曲线

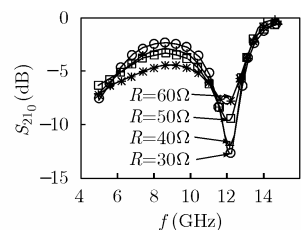


图 6 调节中间电阻时的 S_{21_0} 曲线

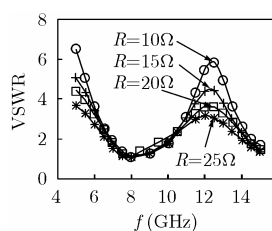


图 7 调节耦合端电阻时的 VSWR 曲线

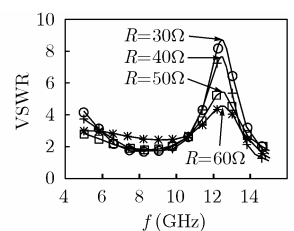


图 8 调节中间电阻时的 VSWR 曲线

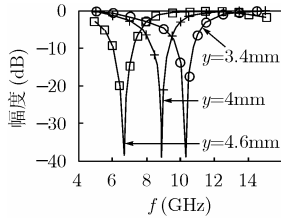


图 9 调节枝节长度 y 只改变谐振频率

断变小。比较这图 5, 图 6 两张图可以看到, 要得到相同的品质因数加载在枝节谐振器耦合端的电阻要比加载在中间的电阻阻值小, 也就是说, 枝节谐振器对于加载在其耦合端的电阻的变化更加敏感。而加载的薄膜电阻对驻波特性的影响如图 7, 图 8。从图上可以看到不论薄膜电阻加载在什么位置, 随着电阻值的增大整个结构的驻波特性都会变好, 这是因为当电阻值增大时, 入射波能量在结构内部损耗变大, 于是反射波减小, 因此, 驻波特性变好。但对比图 7, 图 8 可以看到加载在耦合端的电阻值的变化对驻波特性的影响没有调整中间电阻的影响明显。所以, 选择时, 要根据电阻的加载位置来选择不同的电阻值, 设计中两者必须要结合起来考虑。上述的仿真结果, 进一步说明加载电阻这种方式很适合微带均衡器的设计。

图 10 给出了利用这种加载电阻结构设计的一个宽带均衡器的平面结构, 作为实例分析了该均衡器的传输特性和驻波特性, 实验中得到了很好的结果。整个均衡器的尺寸为 $32 \times 24 \text{mm}^2$ 。

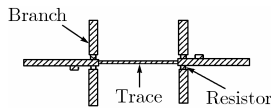


图 10 均衡器结构

由于在微波波段, 谐振、测试口的失配以及频率响应都会影响测量数据。本文利用惠普公司 (Co.Palo Alto, CA) 的 HP8722 网络分析仪测量得到准确的测量数据。它运用了短路-开路-负载-直通校准技术抵消了系统效应的影响。图 11 是由 HP8722 直接得到的测量数据, 显示出了在 $6 \sim 18 \text{GHz}$ 范围内该微带均衡器的衰减特性以及驻波特性, 其衰减特性

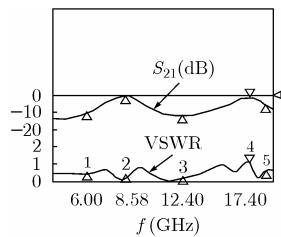


图 11 HP8722 网络分析仪测得的传输特性

与行波管放大器的输出特性匹配得很好, 而且从图上可以看到其驻波特性非常好。

4 结束语

通过大量的 HFSS 仿真和实验对加载薄膜电阻的微带谐振器及其在均衡器设计中的应用作了认真地分析研究, 仿真和实验结果一致表明谐振频率是与均衡器的尺寸紧密相关, 而衰减量则同时与尺寸和电阻值相关。加载了电阻后, 一个最简单的由 4 个枝节构成的均衡器将具有 8 dB 的中等带宽衰减量, 且驻波特性很好。若增加附加枝节, 将会得到每枝节 6 dB 的衰减量。另外, 利用附加电阻还可以得到很好的结果, 它可以控制增加尺寸带来的放大器开销。在设计的时候, 衰减水平和衰减量可以通过优化电阻的阻值和均衡器的尺寸来改变。在有些情况下, 我们也可以保持相同的尺寸, 而通过弯曲或打折来调整其性能。文章中研究了加载电阻的谐振器, 加载电阻后, 谐振器的频率、品质因数、衰减都可调。实验证明, 这种方式很适合微带均衡器的设计。文章给出了的由这种结构设计的 12GHz 带宽的微带均衡器, 通过调试、分析在实验中得到了很好的结果。

参考文献

- [1] Virender Sadhir, David Willens, and Kenneth Karst. Broadband MIC Equalizers TWTA Output Response. IEEE Design Feature. Oct 1993, 102-105.
- [2] Young-Taek Lee, Jong-Sik Lim, and Chul-Soo Kim. A compact-size microstrip spiral resonator and its application to microwave oscillator. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2002, 12(10): 375-377.
- [3] APS Khanna and Y Garault. Determination of loaded, unloaded, and external quality factors of a dielectric resonator coupled to a microstrip line. IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., 1983, 31(3): 261-264.
- [4] P.Guillon, et al. Microstrip bandstop filter using dielectric resonator. IEE Proc. -H 1981, 128: 151-154.
- [5] 清华大学编. 微带电路. 北京: 人民邮电出版社, 1976: 50-53.

赵 瑛: 女, 1975 年生, 博士生, 从事微波网络与技术、微带均衡器关键技术研究与应用、互联网络子结构分析法及其应用研究。

周东方: 男, 1963 年生, 教授, 国家 863-803 主题专家组成员, 主要从事微波网络与技术、互联网络子结构分析法及其应用研究。

张德伟: 男, 1973 年生, 博士生, 从事微波网络与技术、互联网络子结构分析法及其应用研究。

牛忠霞: 男, 1943 年生, 教授、博士生导师, 主要从事微波网络与技术、互联网络子结构分析法及其应用研究。