2014年2月

文章编号: 2095-4980(2014)01-0085-04

相消型介质参数变化测试传感器

刘伟娜,杨 阳,黄卡玛

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要:为测量化学溶液由于温度、浓度等外在因素的变化而导致介电常数的微弱变化,设 计了相消型介电常数微小变化测量传感器。该传感器依据幅度相同、相位相反的 2 路信号相消的 原理进行设计。该装置主要包括 1 个同相威尔金森功分器和 1 个 180°反相功分器,2 个功分器用 2 条槽线相连形成 2 条支路,分别是参考支路与测量支路,待测物与参考物分别放在 2 条支路上。 通过测量 2 条支路相消的情况来反映待测物与参考物之间介电常数的差异。仿真结果表明,与常 规共面波导测量方法相比,该传感器在观测材料参数变化方面,其传输参数的幅值灵敏度提高了 18 dB 以上。

关键词: 传感器; 功分器; 相消; 微小变化; 介质参数 中图分类号: TN911.72; TM930.12 文献标识码: A doi: 10.11805/T

doi:10.11805/TKYDA201401.0085

A cancel type sensor for measurement of permittivity changes

LIU Wei-na, YANG Yang, HUANG Ka-ma

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to measure small permittivity changes of chemical solutions caused by temperature and concentration, a cancel type sensor is proposed. The device consists of an in-phase Wilkinson power divider and an out-of- phase power divider, and the two dividers are connected by 2 slot lines. Therefore, two branches called reference and test branch are formed respectively, on which the Material Under Test(MUT) and reference(REF) material are placed. The permittivity difference between the MUT and REF is reflected by measuring the cancellation of the two signals. Simulation results show that the sensor proposed can improve amplitude sensitivity of transmission parameters by more than 18 dB, compared with traditional Coplanar Waveguide(CPW) measurement.

Key words: sensor; power divider; interference; small changes; permittivity

测量介质参数微小变化的微波技术在很多领域都有着广泛应用,如生物材料、细胞研究、电磁兼容等^[1],应 用广泛的表面湿度传感器就是基于测量介电常数微小变化的原理而设计^[2]的。介电光谱学即测量介质参数及其微 小变化的方法有着很多优势,如便于大量生产,易于与其他电路集成等^[3],但是传统的介质参数测量方法^[4-5]在 探测介质参数微小变化方面具有一定的局限性。鉴于此,设计了一种相消型传感器,该传感器^[6]极大地减小了背 景信号,使测试灵敏度大大提高,因而可敏感捕捉被测材料介电常数的微弱变化。

1 片上相消原理

本文提出的传感器是根据幅度相同、相位相反的2路 信号相消原理进行设计的。幅度相同的2路信号由3dB的 威尔金森功分器^[7]实现,180°相差通过1个180°反相功分 器^[8]完成。图1是提出的灵敏传感器原理图,可以看出该 传感器主要由1个同相等分威尔金森功分器和1个实现 180°相位差的反相功分器组成。信号从端口1输入,经等



收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-03-19 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61001019)

(1)

分威尔金森功分器被分成幅度相等、相位相同的2路。这2路信号分别经过参考支路与测量支路后同时到达第2 个功分器,然后从端口2输出。理想情况下,信号到达第2个功分器(合成器)的2个输入端口时幅度相同、相位 相同。由于第2个反相功分器的作用,这2路信号到达第2个功分器的输出端口时将相互抵消^[9-10],从而使端口 2的输出信号为0。功分器上的贴片电阻可以吸收由于电路的不连续性而引起的反射信号,还可以为2条支路提 供良好的隔离作用。当2条支路特性不一样时,整个系统的传输特性将发生改变。

2 传感器的设计

2.1 传感器示意图

由于反相功分器的输入输出端口均采用 槽线,故同相功分器的输入端口可采用共面波 导(CPW),两输出端口采用槽线结构,2个功 分器之间用槽线相连,形成2条支路,分别为 参考支路和测量支路。参考材料(REF)和测量 材料(MUT)分别放在2条支路上,如图1的 cd 段和 ef 段(cd,ef 段长度为10 mm),最终传 感器的结构见图2。

2.2 测量方法

假设该传感器中共面波导和槽线部分的复传播常数分别为:

$$\gamma = \alpha + \beta$$
, $\gamma_1 = \alpha_1 + \beta_1$

式中: γ为复传播常数; α为衰减因子; β为相位常数。 在设计的频率下,此两端口器件的传输参数 S₂₁为:

$$S_{21} = \sum_{l} e^{-\alpha l_l - j\beta l_l} \times S_{21 \eta j j \#} \times \left(S_{21(\text{MUT})} + S_{21(\text{REF})} \times S_{21 \xi \# \eta j j \#} \right)$$
(2)

式中: *l*_i为传感器各部分的物理长度, *i*=1,2,...,7; *S*_{21(MUT)} 为测量支路上待测材料所在区域的传输参数; *S*_{21(REF})为参考 支路上参考物所在区域的传输参数。从式(2)可以知道,理想 条件下,当参考物与测量物相同时,该传感器的输出参数为 0,反之不为0,这表明测量材料介电常数变化时,传感器的 传输参数将发生变化,即材料介电常数的差异最终会在输出 参数中有所显示。通过上述原理可知,2路信号相消,整个 链路上的信号很弱,使2条支路上的微小差异都可被测量出 来,从而大大提高传感器的灵敏度。

根据上述原理,本文运用高频仿真软件(High Frequency Structure Simulator, HFSS)对所提出的灵敏传感器进行仿真, 从图 3 可以看出,在频率为 9.5 GHz 时,传输参数 S_{21} 的幅值 低至-67 dB 左右,此时反射参数 S_{11} 的幅值约为-25 dB。这 说明在这个频点下,传感器的自身相消效果很好,传输线中的背景信号被消除,参数的测试灵敏度将大幅度提高。

3 仿真分析

下面分析测量区与参考区都放上材料时传输参数的变化 信息,即当传感器的参考区放上参考材料(本文选择为去离子 水,其介电常数的实部为 81),测量区放上不同介电常数(本 文分别选择为 77,79,83,85)的待测材料时的计算情况,结果见 图 4。







Fig.4 Simulated transmission parameters after loading REF and MUT

图 4 放置参考材料与被测材料后传输参数的仿真结果

对比图 3, 当参考区与测量区放上相同介电常数的材料时, 传输 参数相消点的频率与不放置任何材料时是相同的, 这与本文提出的 原理相一致。当测量材料与参考材料不一样时, 传输参数会发生变 化, 这种变化不但体现在传输参数的相消频点, 而且也体现在相消 幅度上, 相消点频率的变化是因为 2 支路上放置的材料不同, 两通 道的等效电长度不一样; 相消幅度发生变化是由于加上参考物与测 量物后, 参考支路与测量支路上引入了不连续性结构, 从而使 2 条 支路上损耗的能量不同。由此可以看出, 被测材料介电常数的变化 会引起传输参数的变化, 即便这种变化很小(如从 83 变化到 85), 也 可以在端口 2 的输出信号中有所显示。

采用相同基板、线宽和槽宽的 CPW,在其一槽间加入去离子水, 另一槽间加入与去离子水不同介电常数的待测材料(其介电常数也 分别选取 77,79,83,85),其仿真计算结果见图 5。从图 5 可以看出, 传输参数的变化小于 0.1 dB。将上述 2 种方式的计算结果在 9.5 GHz 时进行对比,结果见图 6,可以看出,本文设计的新型传感器较常规 的共面波导结构在观测介质参数变化时,其传输参数的幅值灵敏度 至少高出 18 dB。

4 结论

提出了一种相消型介质参数微小变化测量传感器,该传感器的 工作原理是通过 2 路信号相消的程度来反映被测物介电常数的变化 过程。计算结果表明,该传感器具有探测介电常数微小变化的能力。 与常规共面波导测量方法相比,本文设计的新型传感器在观测材料 参数变化方面,其传输参数的幅值灵敏度提高了 18 dB 以上。

参考文献:

- Douglas M G,Kanda M Y,Luengas W G,et al. An Algorithm for Predicting the Change in SAR in a Human Phantom Due to Deviations in Its Complex permittivity[J]. IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, 2009,51(2):217-226.
- [2] Birgermajer S,Kitić G,Crnojevi-Benginć V. Microwave soil moisture sensor based on phase shift detection of transmission coefficient in band-stop structures[C]// 19th Telecommunications forum TELFOR. Belgrade:[s.n.], 2011:27-30.
- [3] LIU W N,YANG Y,HUANG K M. A radio frequency sensor for measurement of small dielectric property changes[J]. Journal of Electromagnetic Wave and Application, 2012,26(8/9):1180-1191.
- [4] 方峪枫,胡荣骅,杨晓庆,等. 电解质溶液复介电常数测量中气泡影响的分析[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2007, 5(1):52-56. (FANG Yufeng,HU Ronghua,YANG Xiaoqing,et al. Influence of Air Bubbles on the Measurement of Complex Permittivity of Electrolyte Solution[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2007,5(1):52-56.)
- [5] 王志辉,方峪枫,杨晓庆,等. 电解质溶液复介电常数测量中金属杂质的影响[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2007,5(3): 220-224. (WANG Zhihui,FANG Yufeng,YANG Xiaoqing, et al. Influence of Metal Impurities on the Measurement of Complex Permittivity of Electrolyte Solution[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2007,5(3):220-224.)
- [6] Keith A Wear. The effect of phase cancellation on estimates of calcaneal broadband ultrasound attenuation in Vivo[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics, and Frequency Control, 2007,54(7):1352-1359.
- [7] 伍星,李中云,邓磊. 基于薄膜电路工艺的毫米波功分器设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(6):722-724.
 (WU Xing,LI Zhongyun,DENG Lei. Design of a millimeter-wave power divider based on thin-film technique[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(6):722-724.)
- [8] Lu Fan,Kai Chang. Uniplanar Power Dividers Using Coupled CPW and Asymmetrical CPS for MIC's and MMIC's[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1996,44(12):2411-2420.



- [9] Song C, Wang P. A radio frequency device for measurement of minute dielectric property changes in micro-fluidic channels[J]. Applied Physics Letters, 2009,21(4):023901.
- [10] YANG Yang, ZHANG Hanqiao, ZHU Junjie, et al. Distinguishing the viability of a single yeast cell with an ultra-sensitive radio frequency sensor[J]. Lab on a Chip, 2010, 10(5):553-555.

作者简介:



刘伟娜(1979-), 女, 河南省汝州市人, 博 士, 主要从事介电常数测量的研究.email: ln168168@sina.com. **杨** 阳(1983-),男,重庆市人,讲师,主要 从事功率合成、微波化学及介电常数测量等方面的 研究.

黄卡玛(1964-),男,重庆市人,教授,主要从 事微波技术及微波化学等方面的研究.

(上接第80页)

- [5] Youssef M, Agrawals A. On the optimality of WLAN location determination systems[R]. University of Maryland, 2003.
- [6] Honkavirta V, Perala T, Ali-Loytty S, et al. A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods[C]// Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. Hannover:[s.n.], 2009:243-251.
- [7] Roos T,Myllymaki P,Tirri H,et al. A probabilistic approach to WLAN user location estimation[J]. Internation Journal of Wireless Information Networks, 2002,9(3):155-163.
- [8] Ledlie J,Park J,Curtis D,et al. Mole:a scalable,user-generated Wi-Fi positioning engine[C]// International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN). Guimaraes:[s.n.], 2011:21-23.
- [9] 赵方,罗海勇,马严,等. 基于公共信标集的高精度射频指纹定位算法[J]. 计算机研究与发展, 2012,49(2):243-252.
 (ZHAO Fang,LUO Haiyong,MA Yan, et al. An accurate fingerprinting localization algorithm based on common beacons[J].
 Journal of Computer Research and Development, 2012,49(2):243-252.)
- [10] 徐玉滨,邓志安,马琳. 基于核直接判别和支持向量回归的 WLAN 室内定位算法[J]. 电子与信息学报, 2011,33(4): 896-901. (XU Yubin, DENG Zhian, MA Lin. WLAN indoor positioning algorithm based on KDDA and SVR[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011,33(4):896-901.)

作者简介:



谢代军(1984-),男,四川省邻水县人,在 读硕士研究生,主要从事无线与移动通信、无 线定位研究.email:xdj_work_link@sohu.com. **孔范增**(1982-),男,天津市人,在读博士研 究生,主要从事无线移动通信、无线定位研究.