



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103033124 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 10

(21) 申请号 201210552202. 8

(22) 申请日 2012. 12. 17

(71) 申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工路  
2 号

(72) 发明人 高仁璟 史鹏飞 刘书田 张永存

(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 李馨 李洪福

(51) Int. Cl.

G01B 7/16(2006. 01)

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

### (54) 发明名称

一种填充有不连续介质的同轴应变传感器

### (57) 摘要

本发明公开了一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,具有:同轴的内导体、位于所述内导体外层,外导体、护套和负载;所述内导体和外导体之间填充有绝缘层;该绝缘层具有两种介电常数不同的绝缘段 I 和绝缘段 II。本发明优点在于同轴电缆力学结构没有被改变,传感器的各部位可承受相同受力强度,不易出现局部的断裂,因此可监测较大应变。原同轴电缆封闭性没有受到破坏,不易被腐蚀,利于长期应用于潮湿及其他复杂环境。此传感器可进行灵敏度设置。此发明结构简单、成本低廉、易于加工生产及应用,可靠性高,可广泛应用于海岸堤坝、大型水电站、桥梁隧道、输油输气管道、大型体育场馆等大型基础设施的结构安全监测。



1. 一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,具有:  
 位于传感器中心,由金属制成的圆柱状的内导体(1)、  
 位于所述内导体(1)外层,由金属制成的圆管状的外导体(3)、  
 包覆所述外导体(3)外表面的护套(4)和  
 位于所述传感器一端、与所述内导体(1)、外导体(3)和护套(4)的一端固定连接的负载(5);

所述内导体(1)、外导体(3)、护套(4)和负载(5)的轴线位于同一直线上;

所述内导体(1)和外导体(3)之间填充有绝缘层(2):该绝缘层(2)具有两种介电常数不同的绝缘段 I (2a)和绝缘段 II (2b),所述绝缘层(2)绝缘段 I (2a)和绝缘段 II (2b)交替间隔连接,充满所述内导体(1)和外导体(3)之间的空间;

工作时,传感器与所述网络分析仪相连接,网络分析仪给出沿所述内导体(1)轴向方向传播的电磁波,同时对由内导体(1)和外导体(3)传回的该电磁波的反射系数进行扫频检测:当传感器被拉伸或者被压缩时,所述反射系数的极值点发生偏移,通过感知并计算该极值点的偏移量,获得应变变量。

2. 根据权利要求1所述的一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,其特征还在于:所述绝缘段 I (2a)和绝缘段 II (2b)的长度通过公式

$$z = \frac{v_{wav}}{4f_m} = \frac{c_0}{4f_m \sqrt{\epsilon_i}}$$

确定,其中 z 为绝缘段 I (2a)或绝缘段 II (2b)的长度,  $\epsilon_i$  为每段绝缘层介质的介电常数,  $f_m$  为传感器的监测频点,  $c_0$  为真空中光速,  $v_{wav}$  为波在同轴电缆绝缘段中的传播速度。

3. 根据权利要求1或2所述的一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,其特征还在于:所述绝缘层(2)的材质为聚四氟乙烯或玻璃纤维。

4. 根据权利要求1或2所述的一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,其特征还在于:所述内导体(1)和外导体(3)的材质为银、铜或金。

5. 根据权利要求1所述的一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,其特征还在于:所述绝缘段 I (2a)和绝缘段 II (2b)的外径和内径均相同。

## 一种填充有不连续介质的同轴应变传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有不连续介质的应变传感器及其制作方法。涉及专利分类号：G01 测量；测试、G01G 称量、G01G3/00 以应用可产生弹性形变的元件为特征的称量仪器，例如弹簧秤、G01G3/12 其中称量部件当称量时处于受压力或张力作用的固体形式、G01G3/14 测量电阻的变化。

### 背景技术

[0002] 传统的电阻应变计测量法无法实现工业场合的非接触测量，无法实现结构内部应变测量，不能进行 3D 应变测量，不能实现非均匀应变的分布式测量，另外容易受到电磁干扰的影响，抗腐蚀能力弱。光纤光栅传感器测量大应变时，由于受到结构机械强度的制约，靠本身的拉伸是无法实现的，只能从光纤光栅所在的传感结构来考虑，通过一定的传感装置或结构，如弯梁方式和弹簧串联方式，将结构大应变转换为光纤光栅的小应变，才能实现大应变测量。因此光纤光栅大应变传感器存在结构复杂、易碎、不易弯折的缺点，同时大弯折还会影响光信号的传输，这样其在某些极端环境下的应用受到限制。

[0003] 2006 年，美国专利 US 20060086197 A1 将同样具有良好的信号传输能力的同轴电缆引入到传感器设计领域，采用直接在同轴电缆绝缘层外手工螺旋缠绕金属薄片的方式对同轴电缆的外导体层进行改进，相邻缠绕的金属薄片紧贴在一起，当结构出现应变时，相邻的金属薄片被拉开，导致同轴电缆的阻抗发生变化进而反应应变信息，该传感器的灵敏度以及应变测量范围得到了提高，但由于其采用手工螺旋缠绕的方式制作同轴电缆传感器外导体层，存在缠绕金属薄片接触不良、介质干扰大、信号衰减大导致有效测试距离短、防腐处理困难以及布设工程中易损坏等问题，无法实现产业化生产及实际工程的推广应用。

[0004] 2011 年中国发明专利 CN 102175723 A 提出基于凹陷薄弱螺纹、点式薄弱螺纹的同轴电缆分布式应变传感器，薄弱螺纹是通过在同轴电缆施加旋转前进式牵引，同时利用钻头在外导体层上刻制凹槽或利用打孔机在外导体层上连续打孔加工制作，该传感器仍然没有摆脱工艺复杂、监测距离短、防腐困难及布设易损等问题。

[0005] 2012 年美国专利 US 20120272741 提出了电栅的概念，即在同轴电缆上制作微小的周期性局部缺陷，缺陷位置对特定频率电磁波有强反射。周期串接的电栅在入射端口反射叠加，致使入射端口反射系数在某一频点出现明显谐振峰。拉伸致使电栅间距变化，引起谐振峰的频移，通过测试频移量来监测应变变量。电栅的制备方式是将同轴线表皮、外导体及绝缘层钻周期阵列孔，此种方法同样破坏了传输线封闭结构，势必引起漏波现象，漏波引起的损耗不利于远距离及大应变监测，加工过程对同轴线的表皮、外导体和绝缘层的破坏降低了传感器的防腐防潮能力，不利于传感器的长期应用，并且在开孔位置局部机械强度降低。另一种电栅制备方式是对同轴线外部进行局部挤压变形，由于产生挤压形变，电栅处机械强度降低的现象并未得到实质改善。

### 发明内容

[0006] 本发明针对以上问题的提出,而研制的一种填充有不连续介质的同轴应变传感器,具有:

[0007] 位于传感器中心,由金属制成的圆柱状的内导体、

[0008] 位于所述内导体外层,由金属制成的圆管状的外导体、

[0009] 包覆所述外导体外表面的护套和

[0010] 位于所述传感器一端、与所述内导体、外导体和护套的一端固定连接的负载;

[0011] 所述内导体、外导体、护套和负载的轴线位于同一直线上;

[0012] 所述内导体和外导体之间填充有绝缘层:该绝缘层具有两种介电常数不同的绝缘段 I 和绝缘段 II,所述绝缘层绝缘段 I 和绝缘段 II 交替间隔连接,充满所述内导体和外导体之间的空间;

[0013] 工作时,传感器与所述网络分析仪相连接,网络分析仪给出沿所述内导体轴向方向传播的电磁波,同时对由内导体和外导体传回的该电磁波的反射系数进行扫频检测:当传感器被拉伸或者被压缩时,所述反射系数的极值点发生偏移,通过感知并计算该极值点的偏移量,获得应变变量。

[0014] 所述绝缘段 I 和绝缘段 II 的长度通过公式

$$[0015] \quad z = \frac{v_{\text{wav}}}{4f_m} = \frac{c_0}{4f_m \sqrt{\epsilon_i}}$$

[0016] 确定,其中  $z$  为绝缘段 I 或绝缘段 II 的长度,  $\epsilon_i$  为每段绝缘层介质的介电常数,  $f_m$  为传感器的监测频点,  $c_0$  为真空中光速,  $v_{\text{wav}}$  为波在同轴电缆绝缘段中的传播速度。

[0017] 所述绝缘层的材质为聚四氟乙烯或玻璃纤维。

[0018] 所述内导体和外导体的材质为银、铜或金。

[0019] 所述绝缘段 I 和绝缘段 II 的外径和内径均相同。

[0020] 本发明可达到效果及优点在于同轴线具有很好的形变能力,同轴电缆力学结构没有被改变,传感器的各部位可承受相同受力强度,不易出现局部的断裂,因此可监测较大应变。原同轴电缆封闭性没有受到破坏,不易被腐蚀,利于长期应用于潮湿及其他复杂环境。此传感器可进行灵敏度设置。此发明结构简单、成本低廉、易于加工生产及应用,可靠性高,可广泛应用于海岸堤坝、大型水电站、桥梁隧道、输油输气管道、大型体育场馆等大型基础设施的结构安全监测。

## 附图说明

[0021] 为了更清楚的说明本发明的实施例或现有技术的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0022] 图 1 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器剖面图。

[0023] 图 2 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器截面图。

[0024] 图 3 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器结构图。

[0025] 图 4 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器测试示意图。

[0026] 图 5 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器实施例一反射系数随应

变发生频移曲线。

[0027] 图 6 是本发明的基于介质不连续同轴线应变监测传感器实施例一反射系数极值频点随应变的频移图。

### 具体实施方式

[0028] 为使本发明的实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚完整的描述：

[0029] 如图 1- 图 4 所示：一种填充有不连续介质的同轴应变传感器，由内至外主要包括：

[0030] 位于传感器中心，由金属制成的圆柱状的内导体 1。套在内导体 1 外层的，同样由金属制成的圆管状的外导体 3。包裹在所述外导体 3 外表面，作为整个传感器最外层的护套 4。在所述内导体 1 和外导体 3 之间的空间内，填充有绝缘层 2。

[0031] 为了能够根据实际需求设定检测频点，通过检测该检测频点的频移，进而计算应变变量，所述绝缘层 2 由两种不同介电常数的绝缘材质组成。每种材质组成一定长度的绝缘段，即绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b，两种不同介电常数的绝缘段交替间隔连接，由多组绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 共同组成所述绝缘层 2。

[0032] 所述内导体 1、外导体 3、护套 4、绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的轴线位于同一直线上，即上述各部件同轴。在传感器的一端设有负载 5，所述内导体 1、外导体 3、护套 4 和绝缘层 2 均固定在负载 5 上。

[0033] 工作时，传感器与所述网络分析仪相连接，网络分析仪给出沿所述内导体 1 轴向方向传播的电磁波，同时对由内导体 1 和外导体 3 传回的该电磁波的反射系数进行扫频检测：当传感器被拉伸或者被压缩时，所述反射系数的极值点发生偏移，通过感知并计算该极值点的偏移量，获得应变变量。

[0034] 进一步的，为了确定绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的长度，以便设定检测频点，使用公式

$$[0035] \quad z = \frac{v_{\text{wav}}}{4f_m} = \frac{c_0}{4f_m \sqrt{\epsilon_i}} \quad (1)$$

[0036] 计算各绝缘段的长度。其中  $z$  为绝缘段 (I2a 或 II2b) 的长度， $\epsilon_i$  为每段绝缘层介质的介电常数， $f_m$  为传感器的监测频点， $c_0$  为真空中光速， $v_{\text{wav}}$  为波在同轴电缆绝缘段中的传播速度。

[0037] 将所述每一个相邻绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 视为一组绝缘段，绝缘段的个数可在设置传感器的过程中，具体设置：比如传感器的长度确定，每一组绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的长度也已经由公式 (1) 算出，按照传感器的长度设置绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的组数即可。

[0038] 经过实验证明，绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的组数越多，监测频点的峰值越明显。在现场安装调试传感器时，可以先观测检测频点的峰值，如果峰值不明显，可以适当的增加绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的组数，直到峰值达到观测需求。

[0039] 式 (1) 中的  $f_m$  为传感器的检测频点，可根据实际测量需要，优先设定，作为求取绝缘段长度的一个定值。

[0040] 终端负载为符合国标的元器件,通常使用 50 欧姆或 75 欧姆的微波元件。

[0041] 进一步的,所述绝缘层 2 的材质为聚四氟乙烯或玻璃纤维。所述内导体 1 和外导体 3 的材质为银、铜或金。

[0042] 所述绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 的外径和内径均相同。

[0043] 实施例 1

[0044] 绝缘段 I2a 和绝缘段 II2b 分别应用 FR4 和 Teflon 两种材料,介电常数分别为 4.4 和 2.1。预定初始监测频点 5GHz,计算绝缘段 I2a 长度为 7.151mm,绝缘段 II2b 长度为 10.352mm。绝缘层内径均为 0.73mm,外径均为 2.3mm。

[0045] 一个绝缘段 I2a 和一个绝缘段 II2b 串接形成的结构称为一个周期,共引进 5 个周期。初始曲线如图 5 中黑色实线所示(应变前),反射系数极值频点出现在 5GHz。对传感器进行拉伸,应变以 0.02 为步长,由 0 变化至 0.2,那么最终监测频点由 5GHz 频移至 4.167GHz,图 5 中应变后曲线。图 6 为频移相对于应变的关系图,结构应变引起相应的频移,由频移量可计算得到传感器相应的应变变量。

[0046] 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。

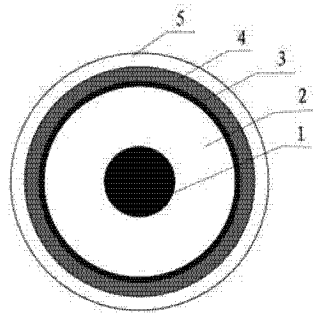


图 1

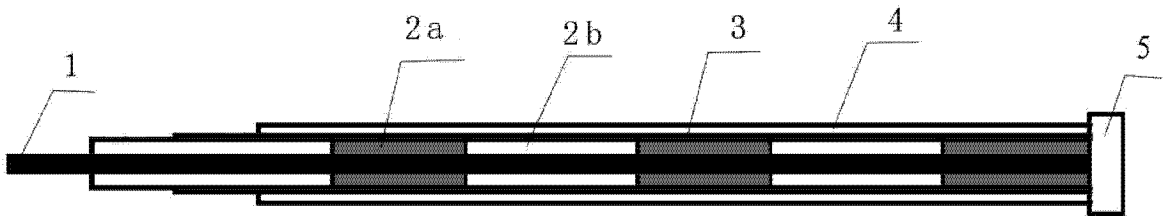


图 2

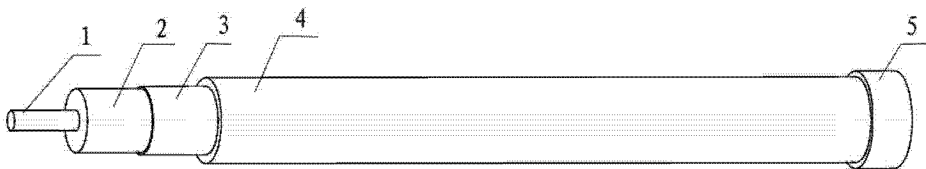


图 3

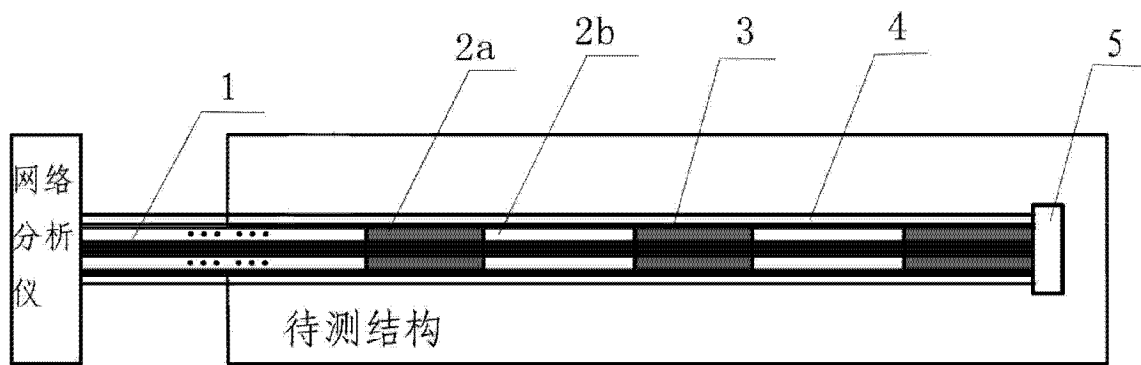


图 4

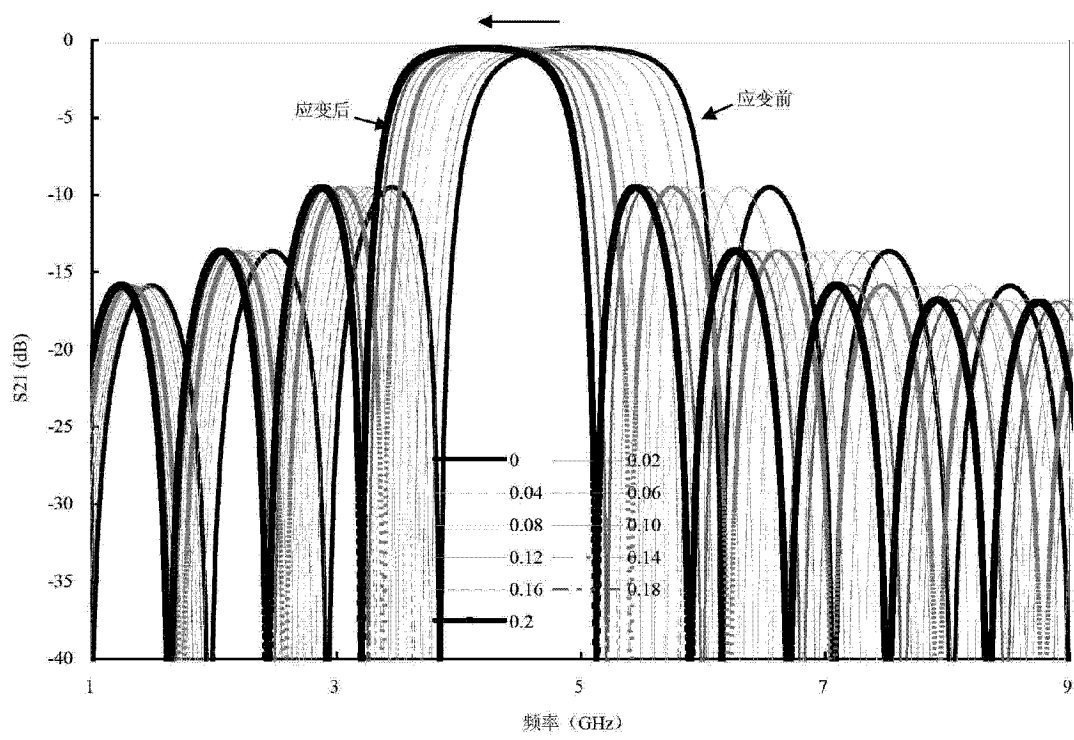


图 5



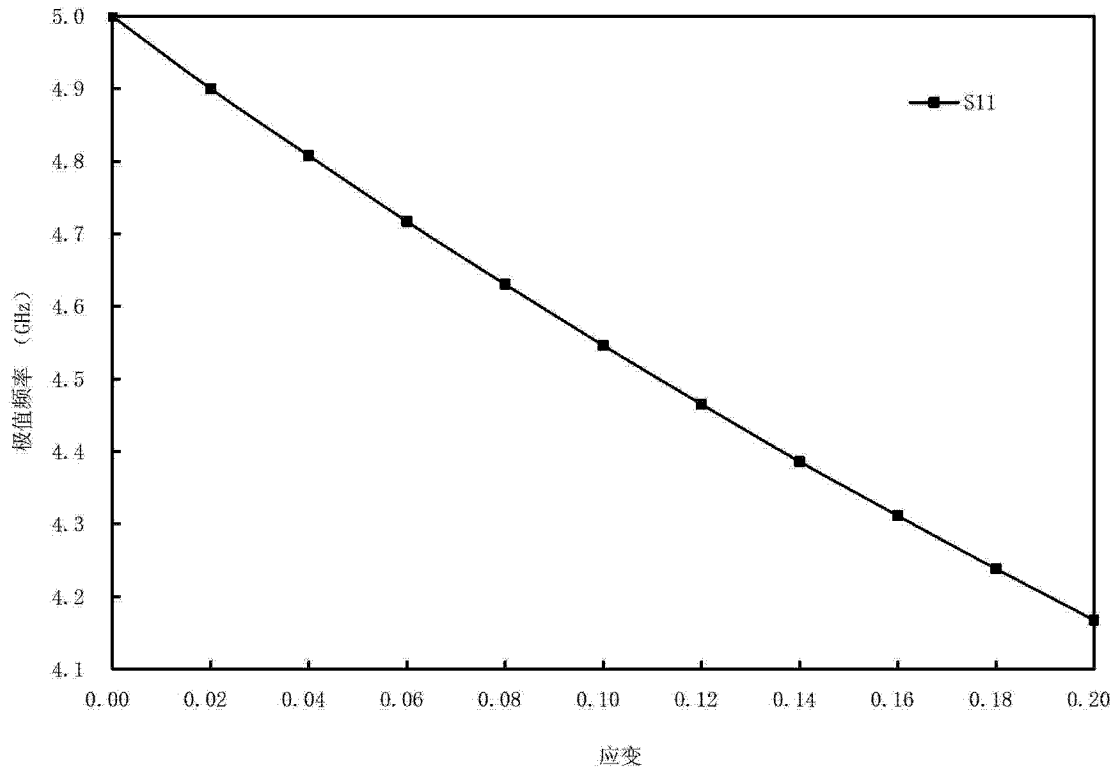


图 6