



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103207217 B

(45) 授权公告日 2015.04.22

(21) 申请号 201310147717.4

(22) 申请日 2013.04.26

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市学府路 301 号

(72) 发明人 张西良 盛庆元 李萍萍 陈书田  
徐坤 路欣

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
代理人 汪旭东

(51) Int. Cl.

G01N 27/22(2006.01)

(56) 对比文件

US 20100277185 A1, 2010.11.04, 说明书第 1 页第 0015 段至第 3 页 0031 段及说明书附图 5.

CN 102890104 A, 2013.01.23, 说明书第 5 页第 0045 段.

刘志刚等. 电介质型水分传感器测定栽培基质含水率的标定模型. 《农业工程学报》. 2011, 第

27 卷 (第 2 期), 199-202.

张宏等. 一种新型粮食水分数字传感器的设计. 《信阳师范学院学报 (自然科学版)》. 2006, 第 19 卷 (第 1 期), 83-85.

郑志敏等. 用于非金属目标非接触位置检测的单片式电容传感器. 《清华大学学报 (自然科学版)》. 2003, 第 43 卷 (第 2 期), 第 172 页摘要及图 1.

审查员 王佳

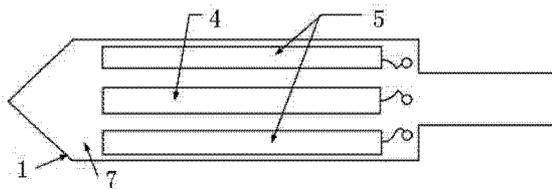
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种非插入式栽培基质含水量传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种非插入式栽培基质含水量传感器,包括单侧敏感型电容式探头、设置有电容测量电路的电路主板、输入输出接口电缆,单侧敏感型电容式探头包括驱动极板、感应极板、屏蔽极板和基片,驱动极板和感应极板位于基片的同一表面上,屏蔽极板位于基片的另一表面上,感应极板和屏蔽极板具有等电位。本发明还公开了该传感器的标定模型,根据传感器在干基质中和任意一点已知栽培基质含水量输出电压信号,确定标定模型中的参数  $\beta$ ,依次确定标定方程。本发明所述传感器具有获取栽培基质表层含水量能力,具有成本低,性能稳定,输入输出接口简单、标定过程方便简单等优点,其标定模型及基于此模型的两点标定模型方法具有快速、简单的特点。



1. 一种非插入式栽培基质含水量传感器,所述非插入式栽培基质含水量传感器包括单侧敏感型电容式探头(1)、设置有电容测量电路的电路主板(2)、输入输出接口电缆(3),所述单侧敏感型电容式探头(1)包括驱动极板(4)、感应极板(5)、屏蔽极板(6)和基片(7),所述驱动极板(4)和感应极板(5)位于基片(7)的同一表面上,所述屏蔽极板(6)位于基片(7)的另一表面上,所述感应极板(5)和屏蔽极板(6)具有等电位,所述非插入式栽培基质含水量传感器根据标定模型进行标定,其特征在于:所述标定模型为

$$\theta = \frac{\left(A \frac{1}{U^{\beta}} - B\right)^{\beta} - \left(A \frac{1}{U_2^{\beta}} - B\right)^{\beta}}{\varepsilon_w^{\beta} - \varepsilon_a^{\beta}}; \text{其中, } U \text{ 为传感器输出电压信号, } \theta \text{ 为对应的栽培基质含水量,}$$

参数  $\varepsilon_w$ 、 $\varepsilon_a$  为水、空气的相对介电常数,  $A$ 、 $B$  值可由传感在空气和纯水中的输出电压确定,  $U_2$  为传感器在干栽培基质中传感器输出电压,  $\beta$  是混合介电常数参数经验值,其大小与混合介质几何结构、成分、电场作用方向相关。

2. 根据权利要求 1 所述的非插入式栽培基质含水量传感器,其特征在于:根据传感器在干基质中和任意一点已知栽培基质含水量输出电压信号,确定所述标定模型中的参数  $\beta$ ,依次确定标定方程。

## 一种非插入式栽培基质含水量传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种非插入式含水量传感器及其标定方法,尤其涉及一种单侧敏感型、用于栽培基质含水量检测的非插入式传感器及其标定模型的两点标定装置及其标定方法。

### 背景技术

[0002] 土壤水分测量是精细农业中实施节水灌溉的基础,是实现农业灌溉自动化的关键环节。随着无线分布式土壤水分监测网络系统应用的日渐成熟,急需一种测量精度高、功耗低、价格低、结构小、标定过程简单的含水量传感器。另外,在设施园艺中,特别是袋培、盆栽或立柱方式种植时,无土栽培基质松散,使得传统的探针插入式水分传感器探头很难与基质良好接触,易形成空隙,而影响测量精度;且插入的探针有可能损伤作物根系,因此,需要一种非插入式栽培基质含水量传感器。

[0003] 目前,栽培基质含水量的测定方法有烘干法、射线法、介电法、核磁共振法、近红外光谱分析法和遥感法等。其中,介电法是通过测量栽培基质介电常数间接测量栽培基质含水量,具有快速、无损优点,其按测量原理又可分为时域反射法(TDR)、频域反射法(FDR)、驻波率法(SWR)和电容法。电容法是测量插入栽培基质中的电极的等效电容来测量栽培基质含水量的,具有技术相对简单、成本低等优点,很早就受到人们广泛注意。如,中国专利号CN1504745A公开了一种电容式探头是由表面涂有一层经高温烧结的具有绝缘和不吸水性陶瓷釉薄膜的两金属片构成;专利CN101694475B和CN201034964都类似地公开了一种将两设有绝缘隔离环的铜环电极套在中空绝缘棒上并将其装入PVC管中可用于土壤剖面水分测量的电容式水分敏感装置;上述3个专利的探头存在制作麻烦或不适用于插入栽培基质并与之良好接触等不足。专利CN102023182A和201210521545.3都公开了一种基于印刷电路板(PCB)技术加工而成的土壤水分传感器探头,是双侧敏感型,都需要插入栽培基质获取含水量信息,无法获取栽培基质表层含水量信息。另外,上述5个专利中均未提出传感器标定模型和方法。由于土壤、无土栽培基质理化性质的差异性大,使得在一种栽培基质中建立的标度变换模型适用性差。实际使用中大都需要对不同土壤、无土栽培基质采用多点回归法选择较优模型重新标定,此方法过程耗时长,没有统一标定模型,不利于产品推广使用。有学者们对电容式土壤含水量传感器标定方法进行研究,如Toshihiro Sakaki对ECH<sub>2</sub>O传感器提出干土、饱和湿土的两点 $\alpha$ 标定模型,获得了不错的效果;高艳、Bogena等提出了先标定输出电压与介电常数关系,后标定介电常数与含水量之间关系的两步标定法。这两种标定方法都有不足:Toshihiro Sakaki的饱和湿土很难定量配制,操作不便;高艳、Bogena第二步标定建立的较优模型同样因土壤、无土栽培基质的性质不同而不同,不具适应性。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中土壤含水量传感器及土壤水分测量技术中存在的上述不足,针对栽培基质相对土壤的不同的理化性质,本发明提供一种制作简单、成本低,具有单侧敏感性

的非插入式栽培基质含水量传感器,并给出此类传感器的一种标定模型,提供一种简单的两点标定方法。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 一种非插入式栽培基质含水量传感器,包括单侧敏感型电容式探头、设置有电容测量电路的主板、输入输出接口电缆,所述单侧敏感型电容式探头包括驱动极板、感应极板、屏蔽极板和基片,所述驱动极板和感应极板位于基片的同一表面上,所述屏蔽极板位于基片的另一表面上,所述感应极板和屏蔽极板具有等电位。

[0007] 进一步,所述电路主板上的电容测量电路包括电源模块、谐振模块、二级分频模块和频伏转换器;所述电源模块用于将干电池供电的电源转换为其它电子器件需要的稳定、无纹波电压源;所述谐振模块用于产生敏感栽培基质含水量的频率信号;所述二级分频模块包括前置分频器和后置分频器,其中,前置分频器用于实现预置分频和电平转换功能,后置分频器是高速异步计数器,用于将频率分频到频伏转化电路能处理的频率内;所述频伏转换器用于使后置分频器输出的分频后的信号以等效的直流电压信号输出,并作为传感器的输出信号。

[0008] 进一步,所述驱动极板、感应极板、屏蔽极板表面都涂覆绝缘层。

[0009] 进一步,所述感应极板和屏蔽极板的宽度与它们之间的间距的比值取 0.8-1 之间。

[0010] 进一步,所述频率信号的频率大小由以栽培基质为介质的探头的等效电容大小决定。

[0011] 进一步,所述电容测量电路包括印刷电路板和探头印刷板,印刷电路板与探头印刷板为一体结构。

[0012] 进一步,所述电容测量电路中的元器件都位于屏蔽极板的同一侧。

[0013] 进一步,所述元器件均经过防水防潮、绝缘及导热性能良好的电子防水胶水灌封处理。

[0014] 一种用于所述非插入式栽培基质含水量传感器的标定模型,所述标定模型为

$$\theta = \frac{\left( \frac{A}{U_2} - B \right)^{\beta} - \left( \frac{A}{U_1} - B \right)^{\beta}}{\varepsilon_w^{\beta} - \varepsilon_a^{\beta}}; \text{其中, } U \text{ 为传感器输出电压信号, } \theta \text{ 为对应的栽培基质含水量,}$$

参数  $\varepsilon_w$ 、 $\varepsilon_a$  为水、空气的相对介电常数,  $A$ 、 $B$  值可由传感在空气和纯水中的输出电压确定,  $U_2$  为传感器在干栽培基质中传感器输出电压,  $\beta$  是混合介电常数参数经验值,其大小与混合介质几何结构、成分、电场作用方向相关。

[0015] 一种基于所述模型的非插入式栽培基质含水量传感器的标定方法,根据传感器在干基质中和任意一点已知栽培基质含水量输出电压信号,确定标定模型中的参数  $\beta$ ,依次确定标定方程。

[0016] 本发明的有益效果是:

[0017] 使用简单的 PCB 加工技术和电路原理,提供了一种非插入式栽培基质含水量传感器,其具有获取栽培基质表层含水量能力;给出了此类传感器统一的标定模型,并提供了一种快速、简单的两点标定模型方法;此种传感器具有成本低,性能稳定,输入输出接口简单、标定过程方便简单等优点。

## 附图说明

[0018] 图 1 是非插入式栽培基质含水量传感器整体结构正面示意图；

[0019] 图 2 是非插入式栽培基质含水量传感器整体结构反面示意图；

[0020] 图 3 是电容测量电路原理框图；

[0021] 图 4 是谐振模块电路原理图；

[0022] 图 5 是二级分频模块原理图；

[0023] 图 6 是频伏转换器电路原理图；

[0024] 图 7 是标定试验数据散点图。

[0025] 图中：1、单侧敏感型电容式探头；2、电路主板；3、输入输出接口电缆；4、驱动极板；5、感应极板；6、屏蔽极板；7、基片。

## 具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0027] 本发明针对现有土壤含水量传感器上述的不足，针对栽培基质相对土壤的不同的理化性质，提出一种制作简单、成本低，具有单侧敏感性的非插入式栽培基质含水量传感器，并给出此类传感器的一种标定模型，提供一种简单的两点标定方法。

[0028] 为了实现上述目的，本发明公开一种非插入式栽培基质含水量传感器及其标定方法，包括用于敏感栽培基质含水量，由印刷电路板(PCB)技术制作的单侧敏感型电容式探头；基于谐振原理，带有频伏转化模块的电容测量电路；基于介电常数混合模型经验公式推导的标定模型( $\beta$ 模型)，及其两点标定方法。

[0029] 单侧敏感型电容式探头由印刷电路板技术制作，它由驱动极板、感应极板、屏蔽极板和基片组成；驱动极板、感应极板位于基片同一表面；屏蔽极板位于基片另一表面；驱动极板、感应极板、屏蔽极板表面都涂覆绝缘层，有效避免极板之间的漏电电流；感应极板、屏蔽极板具有等电位；为兼顾探头的敏感度和敏感深度，所述感应极板、屏蔽极板宽度与它们之间的间距的比值取 0.8-1 之间。

[0030] 电容测量电路由电源模块、谐振单元、二级分频模块和频伏转化(F/V)器四部分组成；电源模块用于将干电池供电的电源转换为其它电子器件需要的稳定、无纹波的电压源；谐振单元是用来产生敏感栽培基质含水量的频率信号，其核心器件为集成压控振荡器(VCO)芯片 MC12148；频率信号的频率大小是由以栽培基质为介质的探头的等效电容大小决定的；探头的等效电容作为芯片 MC12148 外接谐振槽路中所需的电容；二级分频模块包括前置分频器和后置分频器；前置分频器具有预置分频和电平转换功能；后置分频器是高速异步计数器，可将频率分频到频伏转化电路能处理的频率内；频伏转化器是使后置分频器输出的分频后的信号以等效的直流电压信号输出，并作为传感器的输出信号；

[0031] 电容测量电路的印刷电路板与探头印刷板为一体结构，且电容测量电路的元器件都位于屏蔽极板一侧。

[0032] 电路的元器件均经过防水防潮、绝缘及导热性能良好的电子防水胶水灌封处理，以保证传感器长期稳定、可靠运行。

[0033] 本发明还提供一种用于此类非插入式栽培基质含水量传感器的标定模型，所述标

定模型为：

$$[0034] \quad \theta = \frac{\left(\frac{A}{U_1^\beta} - B\right)^\beta - \left(\frac{A}{U_2^\beta} - B\right)^\beta}{\varepsilon_w^\beta - \varepsilon_a^\beta} \quad (1)$$

[0035] 其中， $U$ 为传感器输出电压信号， $\theta$ 为对应的栽培基质含水量，参数  $\varepsilon_w$ 、 $\varepsilon_a$ 为水、空气的相对介电常数， $A$ 、 $B$ 值可由传感在空气和纯水中的输出电压确定， $U_2$ 为传感器在干栽培基质中传感器输出电压， $\beta$ 是混合介电常数参数经验值，其大小与混合介质几何结构、成分、电场作用方向相关；

[0036] 上述两点标定模型的方法是指根据传感器在干基质中和任意一点已知栽培基质含水量输出电压信号确定标定模型中的参数  $\beta$ ，因此确定标定方程。

[0037] 本实施例的测量原理：电容法是一种通过测量以基质颗粒、水和空气组成的栽培基质为电容器介质的电容检测技术；由于水的介电常数远大于基质颗粒和空气介电常数，土壤水分含量改变，土壤介电常数发生变化，从而引起电容器电容变化。

[0038] 如图 1 和图 2 所示，为本发明非插入式栽培基质含水量传感器整体结构正反面示意图。从结构示意图看，本发明包括用于敏感栽培基质水分的单侧敏感型电容式探头 1、测量探头电容大小的电路主板 2、输入输出接口电缆 3。

[0039] 电容式探头 1 由印刷电路板技术制作，它由驱动极板 4、感应极板 5、屏蔽极板 6 和基片 7 组成；驱动极板 4、感应极板 5 位于基片 7 同一表面；屏蔽极板 6 位于基片 7 另一表面；驱动极板 4、感应极板 5、屏蔽极板 6 表面都涂覆绝缘层，有效避免极板之间的漏电电流；感应极板 5、屏蔽极板 6 具有等电位。

[0040] 电容式探头 1 在设计时，应考虑到探头的灵敏度、敏感深度。由于此电容式探头 1 的驱动极板 4 和感应极板 5 在同一平面上，加上屏蔽极板 6 的存在，要分析探头空间电场的精确解析解非常困难。借助 ANSYS 有限元分析软件，假设极板 L 无限长，极板厚度无限薄，采用数值解法对探头电场进行二维仿真，分析探头的灵敏度、敏感深度同极距  $a$  与极宽  $b$  之比 ( $a/b$ ) 的关系，根据仿真结果：认为  $a/b$  在 0.8-1 之间取值时探头结构较优。

[0041] 单侧敏感型电容式探头 1 与测量探头电容大小的电路主板 2 为一体结构，使传感器整体结构紧凑。

[0042] 如图 3 所示，为本发明的中电容测量电路的原理框图；它包括电源模块、谐振模块、二级分频模块和频伏转化 (F/V) 器四部分。

[0043] 电源模块用于将干电池供电的电源转换为其它电子器件需要的稳定、无纹波的 5V 电压源；电路中可采用 AMS1117-5.0 稳压芯片，其内部集成过热保护和限流电路，是电池供电传感器的较佳选择。

[0044] 谐振模块是用来产生敏感栽培基质含水量的频率信号，其核心器件为集成压控振荡器 (VCO) 芯片 MC12148，如图 4 所示是谐振单元电路原理图。所述频率信号的频率大小是由以栽培基质为介质的探头的等效电容  $C_x$  大小决定的，所述探头的等效电容  $C_x$  作为芯片 MC12148 外接谐振槽路中所需的电容，MC12148 输出信号为 MECL 电平，典型的最高频率可达 225MHz，频谱纯度高，在 5.0V 直流电源电压下，最大电流消耗 19mA，其输出信号的频率大小计算式为：

$$[0045] \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C_x)}} \quad (2)$$

[0046] 其中,  $C$ 为芯片 MC12148 内部固有电容,  $L$ 为图 3 中电感  $L_1$  大小。

[0047] 二级分频模块包括前置分频器和后置分频器,图 5 为二级分频模块电路原理图。所述前置分频器采用芯片 MC12017,其具有 64/63 预置分频功能和电平转换功能前置分频器,最大工作频率 225MHz,输出电平可以与 COMS、TTL 电平兼容;所述后置分频器采用 12 位高速 COMS 异步计数器芯片 74HC4040,其最大可实现  $2^{12}$ 分频,足以将预置分频后的频率分频至频伏转化电路能处理的频率内。

[0048] 频伏转化器是使后置分频器输出的频率信号以等效的直流电压信号输出,其核心器件为芯片 LM331,它是美国 NS 公司生产的性价比很高的 V/F 和 F/V 转换芯片。它采用了新的温度补偿能隙基准电路,在整个工作温度范围内和低到 4.0V 电源电压下都有极高的转换精度。当用作 F/V 时并按图 6 中电路所示连接,LM331 芯片的第 1 脚流出的平均电流被  $100k\Omega$  电阻  $R_2$  和  $1\mu f$  的电容  $C_9$  所滤波,其纹波峰值为 10mV,不过相应较慢,时间常数为 0.1s,经过 0.7s 的稳定时间达到 0.1% 的精确度,输出电压信号与输入信号频率的关系为:

$$[0049] \quad U = k \cdot f_s \quad (3)$$

[0050] 其中,  $U$ 是传感器输出电压,  $k$ 是频伏转化系数。

[0051] 本发明还提供一种用于此类非插入式栽培基质含水量传感器的标定模型,模型的具体推导过程如下:根据季赫田纳科两相介电常数混合模型经验公式,将栽培基质看出由空气、栽培基质颗粒和水三相混合,栽培基质的相对介电常数可表示为:

$$[0052] \quad \varepsilon_b^e = \varepsilon_a^e f_a + \varepsilon_s^e f_s + \varepsilon_w^e \theta \quad (4)$$

[0053] 其中,  $\varepsilon_b$ 是土壤相对介电常数,  $\varepsilon_a$ 、 $\varepsilon_s$ 、 $\varepsilon_w$ 分别是空气、土壤颗粒、水的相对介电常数,  $f_a$ 、 $f_s$ 、 $\theta$ 分别是空气、土壤颗粒、水的体积分数,  $\beta$ 是混合介电常数参数经验值,其大小与混合介质几何结构、成分、电场作用方向相关;另外,  $f_a$ 、 $f_s$ 、 $\theta$ 之间关系为:

$$[0054] \quad f_a + f_s + \theta = 1 \quad (5)$$

$$[0055] \quad f_a + \theta = \phi \quad (6)$$

[0056] 其中,  $\phi$ 是土壤空隙率,根据式(4) - (6)可得:

$$[0057] \quad \varepsilon_b^e = \theta(\varepsilon_w^e - \varepsilon_a^e) + \varepsilon_s^e(1 - \phi) + \varepsilon_a^e \phi \quad (7)$$

[0058] 当土壤体积含水量变化时,探头等效电容随之变化,探头等效电容可表示为:

$$[0059] \quad C_x = C_0 + \xi \cdot \varepsilon_b \cdot \varepsilon_0 \quad (8)$$

[0060] 其中,  $C_x$ 是探头等效电容,  $C_0$ 是驱动极板与屏蔽极板形成的等效电容,  $\xi$ 是探头的灵敏度,  $\varepsilon_0$ 是真空介电常量。

[0061] 根据谐振单元谐振信号频率计算式(2)、F/V 转化电路芯片频伏转化关系式(3),和式(8)可得:

$$[0062] \quad \varepsilon_b = \frac{k^2}{4\xi\varepsilon_0\pi^2L} \cdot \frac{1}{U^2} - \frac{C_x + C_0}{\xi\varepsilon_0} \quad (9)$$

[0063] 令  $A = \frac{k^2}{4\xi\varepsilon_0\pi^2L}$ ,  $B = \frac{C_x + C_0}{\xi\varepsilon_0}$ ,假设传感器探头在空气和去离子水表层接触时各自的输出电压分别为  $U_0$ 、 $U_1$ ,则有:

[0064]  $\varepsilon_b = A \cdot \frac{1}{U_b^2} - B$  (10)

[0065]  $\varepsilon_a = A \cdot \frac{1}{U_a^2} - B$  (11)

[0066]  $\varepsilon_w = A \cdot \frac{1}{U_w^2} - B$  (12)

[0067] 由式(11)、(12)可以确定 A、B。另外,假设传感器在烘干基质中(θ为0),输出电压为 U<sub>2</sub>。则由式(7)、(10)可得:

[0068]  $\left(A \cdot \frac{1}{U_2^2} - B\right)^\beta = \varepsilon_s^\beta (1 - \varphi) + \varepsilon_a^\beta \varphi$  (13)

[0069] 根据式(7)、(10)、(13)可得:

[0070] 
$$\theta = \frac{\left(A \cdot \frac{1}{U_w^2} - B\right)^\beta - \left(A \cdot \frac{1}{U_2^2} - B\right)^\beta}{\varepsilon_w^\beta - \varepsilon_a^\beta}$$
 (14)

[0071] 式(14)为基于 β参数的经验标定模型(β模型)。在用 β模型标定时,参数 ε<sub>w</sub>、ε<sub>a</sub>、为常数,对某一个传感器的 A、B值相同,故对不同的栽培基质只需确定参数 U<sub>2</sub>和 β。其中, U<sub>2</sub>为在干栽培基质中传感器输出电压,根据标定模型式(14),可以提出两点标定模型的方法。

[0072] 所述两点标定模型的方法是指根据传感器在干基质中和任意一点已知栽培基质含水量输出电压信号确定标定模型中的参数 β,因此确定标定方程。

[0073] 为说明本发明的有益效果,既传感器的实用性、可靠性;以及给出 β模型的适应性和两点标定法的实用性;以土壤,及常用无土栽培基质泥炭和醋糟为试验对象,进行标定试验。标定方法如下:将风干土壤、泥炭和醋糟剔除杂质后,放于 105℃干燥箱中干燥 3h,冷却到室温备用;取内径 13cm、深 25cm 的塑料桶,用精密电子秤称出空桶质量,确定要装填土壤、基质体积,并在桶内相应高度处做上标记;根据事先确定的试样体积含水量和容重计算所需水和干土壤、泥炭和醋糟的质量,按计算的结果取干土壤、泥炭、醋糟与水混合,充分搅拌均匀,密封于塑料袋中静置 24h 后,用分层压实法将其装入塑料桶中并将其压实至所做标记处;测量时,室温控制在(25±3)℃,将非插入式栽培基质含水量传感器敏感侧紧密接触于所制试样上方,每旋转 120° 测量 1 次,取 3 次输出电压平均值为测量值。试样按含水量从小到大编号,含水量为 0,编号为 1。另外,试验测试得到:U<sub>0</sub>=1.354V、U<sub>1</sub>=0.405V。图 7 为标定数据,将数据进行最小二乘法拟合 β参数模型,拟合的相关系数 R<sup>2</sup>和均方根误差(RMSE)如下表:

[0074]

土壤		泥炭		醋糟	
R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
0.9916	0.0108	0.9950	0.0117	0.9911	0.0079

[0075] 由此表可知:β标定模型能较好地描述输出电压信号与基质含水量之间的关系,最小相关系数 R<sup>2</sup>=0.9911。

[0076] 根据本发明提出的两点标定方法,我们将编号大的任意一点试验数据带入式(16),求解出参数 β,确定标定模型;根据标定模型计算出自身外其余各点标定值与真值

的误差,记误差的最大绝对值为  $M_{|\Delta|}$ 。计算的  $\beta$  和  $M_{|\Delta|}$  数据如下表:

[0077]

基质 编号	土壤				泥炭				醋糟			
	7	8	9	10	9	10	11	12	6	7	8	9
$\beta$	0.529	0.520	0.610	0.619	0.789	0.808	0.823	0.833	0.637	0.601	0.670	0.648
$M_{ \Delta }$	0.022	0.024	0.021	0.023	0.017	0.020	0.023	0.025	0.016	0.021	0.019	0.017

[0078] 由此表可知:用两点标定方法确定的  $\beta$  标定模型,用于土壤、泥炭和醋糟测量效果较好,它们的最大误差小于 0.025,满足农业生产栽培基质含水量测量精度要求。

[0079] 最后所应说明的是:以上实施例仅用以说明而非限制本发明技术方案,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和范围的任何修改或局部替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

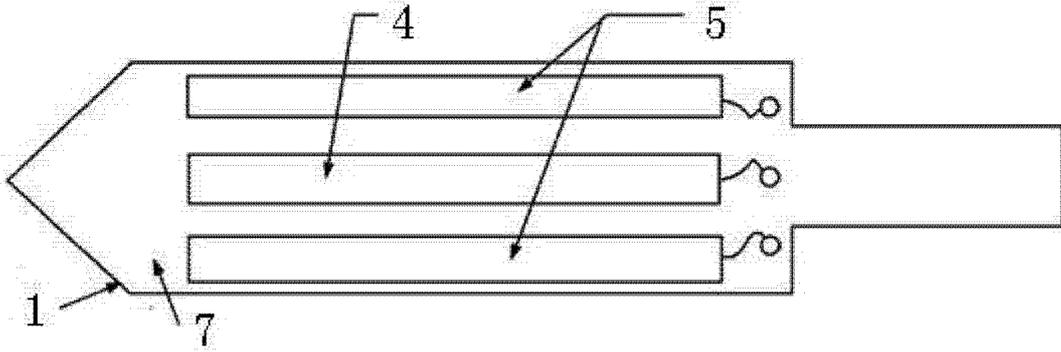


图 1

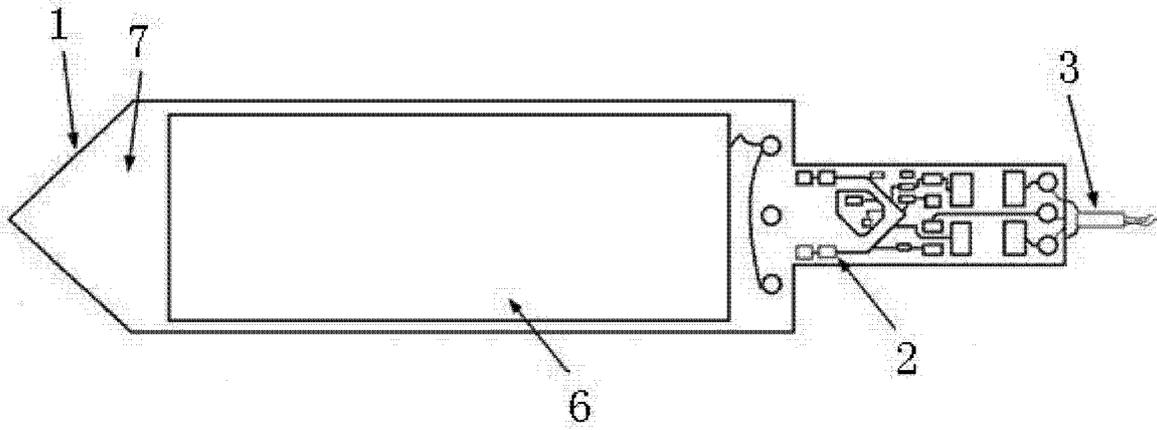


图 2

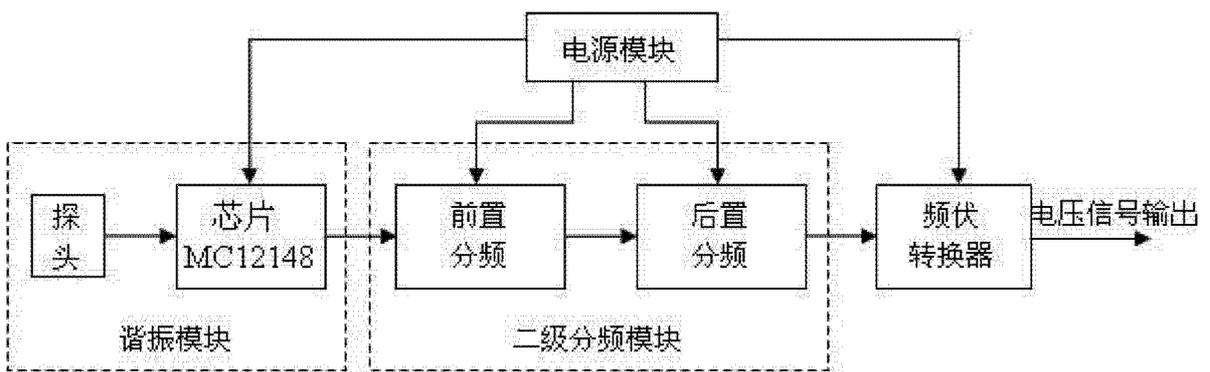


图 3

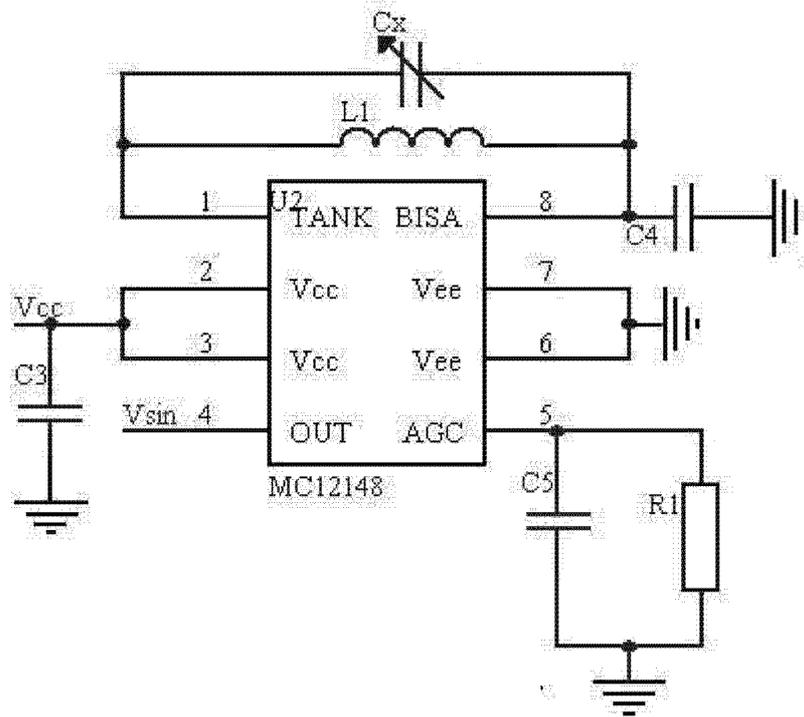


图 4

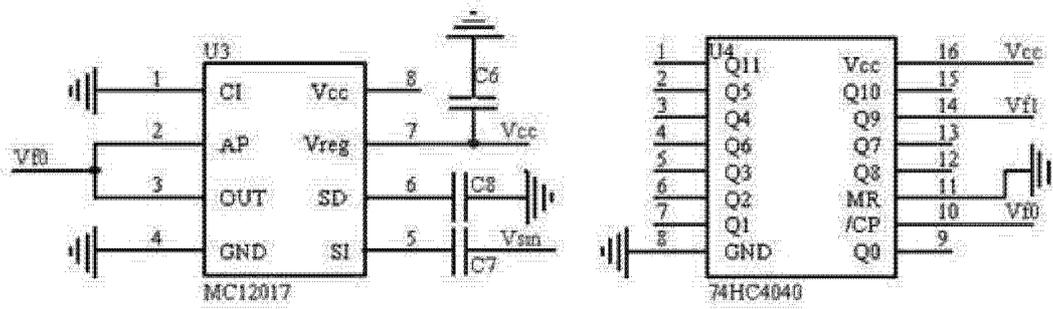


图 5

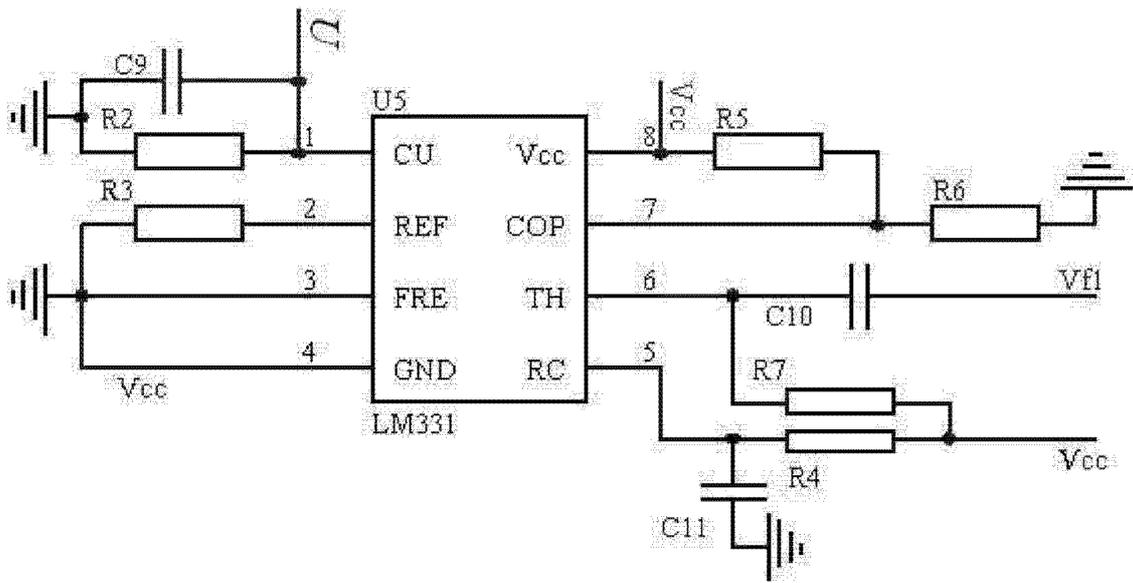


图 6

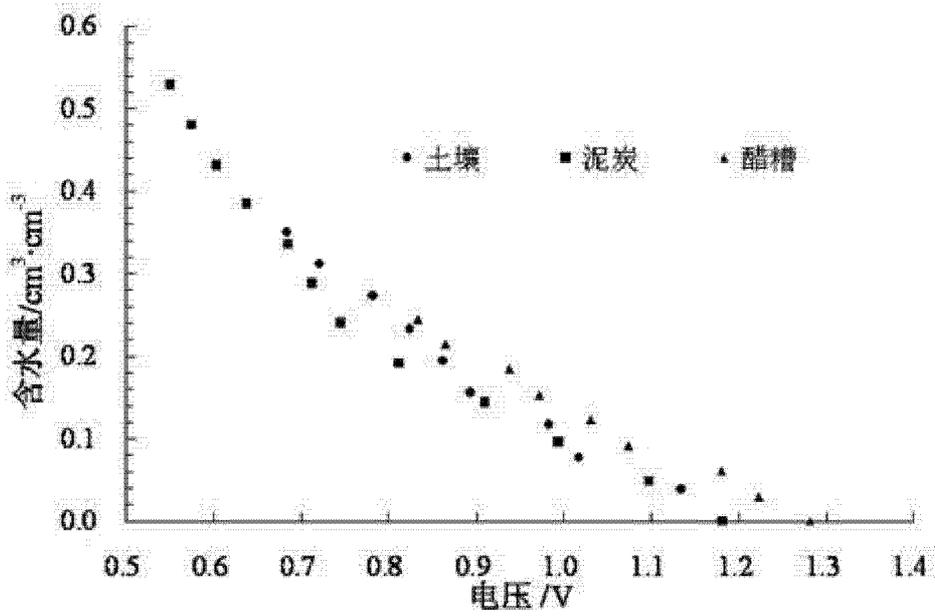


图 7