

文章编号: 1007-4929(2014)03-0066-03

FDR 土壤水分传感器的快速校准与验证

徐晓辉, 闫焕娜, 苏彦莽, 孙立成

(河北工业大学, 天津 300401)

摘要: FDR (Frequency Domain Reflectometry) 土壤水分传感器是一种用于测量土壤含水量的传感器, 本文以 FDR 土壤水分传感器的工作原理为基础, 重点研究了 FDR 传感器的快速校准方法, 使之与标准传感器具有相同的输入输出特性。通过软件对 FDR 传感器进行校准, 并利用校准后的系统与标准传感器进行了对比验证, 检验结果表明, 校准后的传感器与标准传感器的输入输出特性具有良好的一致性。

关键词: FDR; 传感器; 土壤含水量; 校准

中图分类号: P426.68 **文献标识码:** A

Calibration and Verification for Soil Moisture Sensor FDR

XU Xiao-hui, YAN Huan-na, SU Yan-mang, SUN Li-cheng

(Hebei University of Technology, Tianjin, China)

Abstract: Soil moisture sensor FDR (Frequency Domain Reflectometry) is a type of sensor for measuring soil water content. The rapid calibration of FDR is studied firstly based on the theory of the measurement of soil water content by FDR to ensure that FDR has the same input-output characteristics with the standard sensor. Then the calibration for FDR measurement is done through software, and the sensor after calibration is validated by comparison with the standard sensor. The results show that the input-output of the two soil moisture sensors has a good consistency.

Key words: FDR transducer; soil moisture; calibration

0 引言

土壤含水量是反应土壤含水状况的重要物理参数, 它对农作物的生长、存活等起着至关重要的作用, 在合理利用水资源方面有重要意义^[1]。对土壤含水量进行连续、实时的检测, 根据农作物需要对农田进行适时适量的灌溉, 能够促进农作物的生长, 增加农作物的产量, 节省水资源。

多年来, 科研人员一直致力于土壤含水量测量技术的研究, 各种技术层出不穷^[2]。目前, FDR 土壤水分传感器是应用较多的传感器, 它具有快速准确、连续监测的优点, 测量精度高, 操作方便灵活。但 FDR 土壤水分传感器在生产过程中, 由于产品参数的分散性、随机误差或者生产工艺的限制等因素影

响, 传感器的输入输出特性可能发生漂移, 造成输出水分值与实际土壤含水量不符。此外, 在长期使用过程中, 环境参数、自身老化等因素也会引起传感器输入输出特性的漂移。所以, 在出厂前和使用一段时间后需要对 FDR 土壤水分传感器进行快速校准, 使它与标准传感器保持相同的输入输出特性, 这样可以保证 FDR 土壤水分传感器测量的准确性。

本文首先介绍了 FDR 土壤水分传感器的基本原理, 然后设计了一种传感器的快速校准方法, 并对校准后的 FDR 土壤水分传感器的输入输出特性进行了验证。

1 FDR 土壤水分传感器工作原理

频域反射技术 (FDR, Frequency Domain Reflectometry) 是

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 河北省科技支撑计划 (13210305D); 石家庄市科学技术研究与发展计划 (131130322A)。

作者简介: 徐晓辉 (1962-), 男, 研究员, 研究方向为传感器及传感器网络, 智能信号系统。E-mail: xxh@hebut.edu.cn。

利用电磁脉冲原理,根据电磁波在土壤中传播的频率来测量土壤的表观介电常数。土壤的介电特性是以下几个因子的函数:电磁频率、盐度、土壤容积含水量、束缚水与土壤总容积含水量之比、土壤容重、土壤颗粒形状及其所包含的水的形态。从电磁角度分析,土壤由 4 种介电物质组成:空气、土壤固体物质、束缚水和自由水。由于水的介电常数远远大于土壤基质中其他材料的介电常数和空气的介电常数,因此,土壤的介电常数的大小主要依赖土壤含水量的多少^[3]。一般认为土壤表观介电常数的平方根与土壤含水量存在稳定关系,在中低含水量时,可以用线性方程表示。

本文使用的待校准 FDR 土壤水分传感器为 FDR-100 型土壤水分传感器,参考的标准土壤水分传感器是经过标定后的高精度标准土壤水分传感器,它们是基于以上 FDR 原理研发的,具有基本相同的电路结构(如图 1 所示)和相同的外部形态(如图 2 所示)。传感器的水分探头主要由平行的金属棒组成一个电容,插入土壤中时,电容极板间的土壤充当电介质^[4],采用 100 MHz 的晶体振荡器作为信号源,经由驱动单元加到输出探针上,反馈探针得到与土壤湿度情况相关的反馈信号,经由反馈数据采集单元、放大单元,输出与土壤含水量情况相关的电压信号。

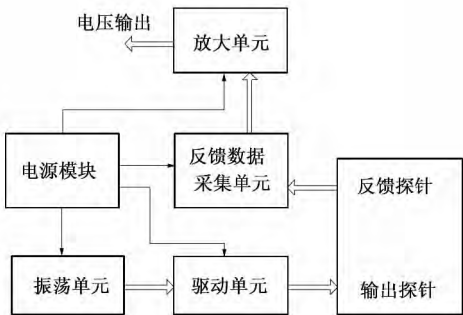


图 1 FDR 传感器内部电路结构图

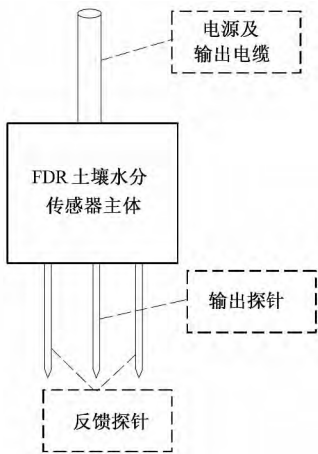


图 2 FDR 传感器外观结构图

2 FDR 土壤水分传感器的快速校准

从已有研究来看,大多数关于 FDR 传感器的校准是在田间或将土壤采集到室内进行的,而根据以往的实验数据发现,

田间土壤有很大的变异性,而且低含水量条件很难得到,而室内校准容易受人为主观因素影响,土壤压实度很难控制,造成无法准确校准 FDR 土壤水分传感器。

本文将 FDR-100 型土壤水分传感器与高精度标准土壤水分传感器垂直插入到一个上下均匀的圆柱形容器中,依次向容器中加水,用不同高度(即不同体积)的水代替不同湿度的土壤进行实验,由 FDR 土壤水分传感器的工作原理推断,在相同工作环境下,两传感器的湿度—电压特性曲线与水体积—电压的特性曲线大致相同,所以,把 FDR-100 与标准传感器的水体积—电压特性曲线尽可能调成一致,就可以保证 FDR-100 与标准传感器具有相同的输入输出特性,完成 FDR-100 型土壤水分传感器的快速校准。用这种方法不仅大大减少了实验工作量,而且尽可能避免了用土壤实验时造成的影响结果的误差。具体校准步骤如下:

(1)将两种传感器连入测量电路,如图 3 所示,传感器接入 12 V 的直流电压,并将信号端连接采集模块,记录传感器的输出电压。

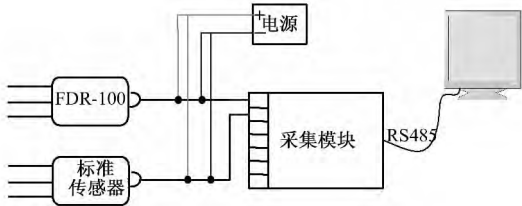


图 3 测量电路原理框图

(2)将两种土壤水分传感器垂直放入干燥的圆筒容器中,用固定夹固定。

(3)打开电源及采集模块开关,读取容器中未加水时输出电压,并记录。

(4)依次向容器中加入 200 mL 水,读取输出电压并记录,直至水面高度完全没过探针。

(5)反复进行多组实验,计算出输出电压的平均值,填入表 1,综合观察和比较。

表 1 各传感传输出电压与所加水体积的对应表

水体积/mL	0	200	400	600	800	1 000
标准土壤水分传感器/V	0	0.915	1.830	2.745	3.660	4.600
FDR-100 型土壤水分传感器/V	0.483	1.912	2.956	3.670	4.235	4.621

(6)以 FDR-100 型土壤水分传感器的输出电压 U_1 为 x 轴,以标准土壤水分传感器的输出电压 U_2 为 y 轴,由 excel 表格生成散点图,如图 4 所示。

(7)利用曲线拟合法,采用 2 次多项式来逼近两种传感器的输出电压关系曲线,该多项式方程的各个系数由最小二乘法确定,具体方法如下:设曲线拟合方程为:

$$u_{2i}(u_{1i}) = a_0 + a_1 u_{1i} + a_2 u_{1i}^2$$

(1)

最小二乘法:

$$\sum_{i=1}^N [u_{2i}(u_{1i}) - u_{2i}]^2 = \text{最小值}$$

(2)

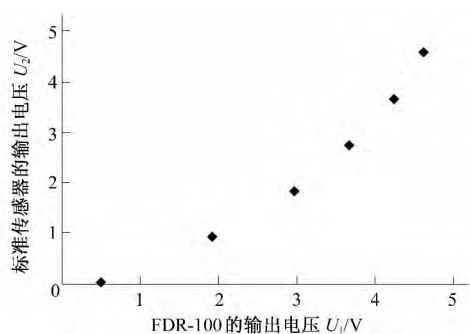


图4 FDR-100 型与标准土壤水分传感器输出电压关系曲线

式中: $i=1, 2, \dots, N$ (N 为标定点数), u_{1i} 为 FDR-100 型传感器输出的第 i 个电压, $u_{2i}(u_{1i})$ 为通过曲线拟合方程得到的电压, u_{2i} 为标准传感器的输出电压。由式(2)可以求得式(1)的系数 a_0, a_1, a_2 。

将式(2)整理得矩阵方程:

$$\begin{cases} a_0 N + a_1 F + a_2 G = B \\ a_0 F + a_1 G + a_2 H = C \\ a_0 G + a_1 H + a_2 I = D \end{cases} \quad (3)$$

式中: N 为标定点个数; $F = \sum_{i=1}^N u_{2i}$; $G = \sum_{i=1}^N u_{2i}^2$; $H = \sum_{i=1}^N u_{2i}^3$; $I = \sum_{i=1}^N u_{2i}^4$; $B = \sum_{i=1}^N u_{1i}$; $C = \sum_{i=1}^N u_{1i} u_{2i}$; $D = \sum_{i=1}^N u_{1i} u_{2i}^2$ 。

对方程组(3)进行编程运算, 计算出校准方程(1)的系数, 再对式(1)进行编程, 编程算式就成为 FDR-100 土壤水分传感器快速校准模块。

3 校准系统的设计

3.1 系统设计

传感器工作者一直不懈的努力, 设计硬件补偿电路, 期望传感器具有良好的输入输出特性, 但由于各传感器的静态特性曲线并不一致, 硬件电路的可移植性差、成本高, 硬件补偿具有一定的局限性。所以, 本文将 FDR-100 型传感器与微处理器赋予智能的结合, 如图 5 所示, 采用灵活的软件功能改善传感器的性能^[5]。

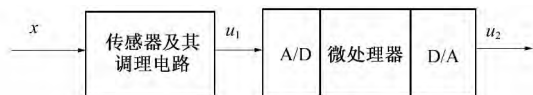


图5 校准系统框图

该校准系统包括 FDR-100 型土壤水分传感器、A/D 转换、微处理器, 是实现校准功能最快、最灵活的方式, 只需在 FDR-100 的基础上附加微处理器就可进行校准。校准时, FDR-100 型土壤水分传感器测量土壤水分, 将土壤含水量转换为电压 u_1 后送入微处理器, 再由微处理器进行分析运算, 将电压 u_1 根据式(1)转换为与标准传感器相同的输出电压 u_2 。

3.2 系统的软件实现

FDR-100 型土壤水分传感器的快速校准系统的流程图如图 6 所示, 初始化主要是对微处理器内部特殊功能寄存器、A/D 转换等进行初始化状态的设定。系统上电后, 待电压稳定后

进入测量状态, 调用计算公式对 FDR-100 的输出电压进行修正校准, 最后输出校准后的电压值。



图6 校准系统流程图

4 校准结果的验证

利用上述实验方法, 将校准后的 FDR-100 型土壤水分传感器与标准传感器插入圆柱形容器中, 逐渐加水, 记录传感器的输出电压, 并观察比较, 验证校准后的 FDR 土壤水分传感器测量结果的可靠性。

实验数据表明, 校准后的传感器的输出电压与标准传感器的输出电压具有较好的一致性, 说明本文提出的方法能够实现 FDR 土壤水分传感器的快速校准。

5 结语

FDR 型土壤水分传感器快速校准技术, 能够灵活地运用软件优势, 借助高精度标准土壤水分传感器, 消除由于产品参数的分散性、随机误差或者生产工艺的限制等因素影响, 既降低了生产成本, 又改善了传感器性能, 提高测量精度。利用此方法开发的便携式快速校准仪, 可对在役的土壤水分传感器进行现场校准, 消除由于使用环境、自身老化等因素引起的传感器特性漂移。

参考文献:

- [1] 郭卫华, 李波, 张新时, 等. FDR 系统在土壤水分连续动态监测中的应用[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 247-251.
- [2] 陈家宙, 陈明亮, 何圆球. 各具特色的当代土壤水分测量技术[J]. 湖北农业科学, 2001, (3): 25-26.
- [3] 陈海波, 冶林茂, 李树岩, 等. FDR 土壤水分自动监测仪的标定与检验[J]. 微计算机信息, 2009, 25(11): 104-106.
- [4] 张宪, 姜晶, 王劲松. 基于 FDR 技术的土壤水分传感器设计[J]. 仪器仪表与检测技术, 2011, 30(11): 61-65.
- [5] 刘君华. 智能传感器系统[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.