

文章编号:1674-2869(2016)01-0074-04

基于交流阻抗法的土壤湿度测量

王利恒,刘思敏,龚泽熙

武汉工程大学电气信息学院,湖北 武汉 430205

摘要:采用交流阻抗法快速测量土壤的湿度.将双探针传感器一端插入土中,作为阻抗器件,另一端与NE555芯片相连,组成电阻频率转换电路,使加载在被测土壤上的直流电变为交变电流,同时将土壤的交变阻抗转换成频率信号,不需要模数转换,就可以通过单片机测得频率值.通过频率与土壤湿度间的线性关系,获得土壤湿度值.交流阻抗法有效克服了在直流电作用下带来的土壤电极化现象,在快速测量的同时保证了测量精度.实验结果表明该方法能有效测量0%~20%的土壤湿度范围.

关键词:土壤含水量;交流阻抗法;电阻频率转换电路

中图分类号:S237 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2016.01.013

Measuring Soil Moisture Based on Alternating Current Impedance Method

WANG Liheng, LIU Simin, GONG Zexi

School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: The soil moisture was quickly measured by the alternating current impedance method. The double probe sensor was inserted into the earth at one end, which was used as an impedance device, and the other end was connected with the NE555 chip, which formed the resistance frequency conversion circuit. The circuit made the direct current loaded on the soil changing into the alternating current, and converted the alternating impedance of the soil into the frequency signals; meanwhile, the frequency values were measured by a single chip, without analog to digital conversion. Finally, the soil moisture values were obtained according to the linear relationship between the frequency and soil moisture. The alternating current impedance method overcomes effectively the polarization phenomenon of soil electrode under the action of direct current, with high precision and quick speed. Experimental results show that this method can measure the soil moisture in ranges of 0%–20% effectively.

Keywords: soil moisture content; alternating current impedance method; resistance frequency conversion circuit

1 引言

土壤含水量的多少对于农作物的生长至关重要,水分过多或不足都会影响农作物的正常生产,对农作物的产出带来直接影响.及时准确掌握土壤含水量多少,对于实施精准定量灌溉,节约用水具有重要意义^[1].尤其是对于我国这样一个缺水的农业大国,精准农业的实施会带来广泛的社会效

益和经济价值.

目前测量土壤水分的方法主要有烘干法、电阻法、射线法、时域反射法(TDR)、频域反射法(FDR)以及遥感法.烘干法属于定义法,是其它测量方法的参考标准,但由于需要经历取样,烘干,称重等多道工序,耗时费力,且无法做到实时测量,一般只在做系统标定时使用.射线透射法和中子水分仪法^[2-3]都不需要取样,安装好后,可以在同

收稿日期:2015-11-17

基金项目:国家自然科学基金(61271363);湖北省自然科学基金(2012FFB04711)

作者简介:王利恒,博士,副教授. E-mail: wlhust@163.com

一个地方定点连续测量,但是它对表层土壤的测量却略显不足,而且各种射线法和中子水分仪法最大的问题就是会对人体造成辐射危害.时域反射法^[4](TDR)具有射线法和中子法的优点,而且不会存在辐射问题,但成本过高,且电路复杂不利于推广.

采用交流阻抗法,本质上属于频域反射法(FDR)的一种应用,但由于其在测量电路中,土壤充当的是一个阻抗器件,所以归为阻抗法.基于电阻法改良的交流阻抗法测土壤湿度的方法,操作方便,能快速测量土壤水分,无辐射且成本低,在一定范围内可保证测量精度,可以大范围地普及使用.

土壤是矿物质、有机物质和活的有机体以及水分和空气等的混合物,是一个气、液、固相均有的混合物.由于水的存在,土壤中的矿物质溶解到水分中,形成可以导电的电解离子.而这种导电能力受土壤的成分和含水量的多少影响,在相同地质情况下,主要影响因素就是含水量.所以土壤阻值的大小和含水量的多少有直接关系,通常含水量加大时,电阻值会变小,也就是越干的土壤其阻值越大,使用电阻法测量土壤湿度就是依据的这个原理.

土壤电阻率的大小主要取决于土壤的成分和含水量.土壤的成分不同决定了其所含导电离子浓度的大小.假定土壤中导电离子浓度为 C_1 ,土壤中含水量为 C_2 ,土壤电导率 ρ 就是导电离子浓度 C_1 和含水量 C_2 的函数^[5]:

$$\rho = f_1\left(\frac{1}{C_1}\right) \cdot f_2\left(\frac{1}{C_2}\right) \quad (1)$$

根据式(1),土壤电阻率将会根据土壤成分以及含水量不同而改变,而土壤成分相对来讲是比较固定的.那么电阻的大小就和含水量直接相关.但经过实验研究发现使用这种传统电阻法测量土壤湿度其测量结果很不稳定,在研究中发现,土壤在直流电流作用下,会发生电解作用,并出现极化现象,从而导致在测量过程中出现测量结果漂移不稳定的现象.

采用交流阻抗法,属于电阻法一种改良,通过加载在被测对象的交变电流有效防止了用传统电阻法测量土壤湿度时所造成的极化影响.

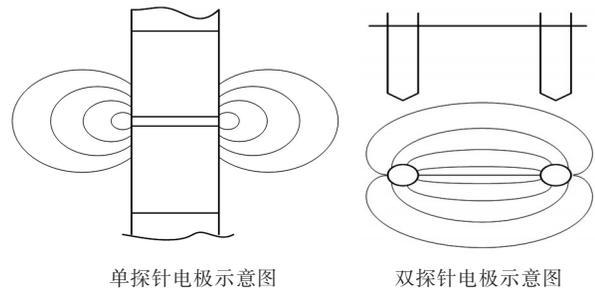
测量土壤湿度时,将探针插入土中,探针相当于两个电极,前端测量电路施加的交变电场通过探针作用在被测土壤上,将土壤的交变阻抗转换成频率信号,来进行后处理得到含水量数据.

2 实验部分

2.1 传感器的选择

水分传感器的探针结构可以是单根探针形式,也可以设计成两根探针形式.

单根探针的传感器外形更为紧凑,是在同一柱面上分段得到两个电极,所以制作工艺比较复杂.如图1所示,两柱面构成的电极间的电磁场分布范围仅在探针附近,因此其测量的有效范围是以探针为中心的有限区域范围.



单探针电极示意图

双探针电极示意图

图1 传感器探针电场分布

Fig. 1 Sensor probe electric field distribution

当探测电极分别由两根探针构成,其结构形式就是双探针电极.由于每根探针就是一个电极,制作工艺简单.其测量的有效范围是以两探针中间区域向外辐射的范围,相对单探针,其探测有效范围比单探针的要广.传感器选用双探针设计方案,探针选用316L不锈钢材料,可以长期在土壤里工作.同时增加一根温度探头,用于测量土壤温度,进行温度补偿.

2.2 前端测量电路设计

前端测量测量电路使用NE555组成交变振荡电路.

图2是由NE555组成的多谐振荡器的电路图, R_A 相当于土壤的电阻值,是由双探针电极和土壤构成的, R_B 是固定电阻.通过 R_A 、 R_B 和 C_1 组成的充放电回路,将电阻值转换成振荡频率.

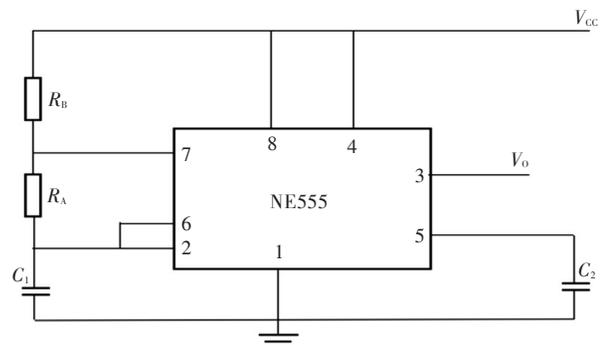


图2 交变振荡电路

Fig. 2 Alternating oscillation circuit

上电后, V_{cc} 开始通过 R_A 和 R_B 向 C_1 充电, V_c 开始上升, 3 端输出为高电平, C_1 充电的时间为

$$t_H = (R_A + R_B)C_1 \ln 2 \quad (2)$$

当 V_c 升到 $2V_{cc}/3$ 时, NE555 内部的三极管 T 导通, 与 R_A 、 C_1 构成放电回路, 充电结束, C_1 开始放电, V_c 开始下降, 3 端输出为低电平, C_1 放电时间为

$$t_L = R_A C_1 \ln 2 \quad (3)$$

当 V_c 降到 $V_{cc}/3$ 时, NE555 内部的三极管 T 会截止, V_{cc} 又开始通过 R_A 和 R_B 向 C_1 充电, 即每当 V_c 降到 $V_{cc}/3$ 时, C_1 就开始充电, 当 V_c 升到 $2V_{cc}/3$ 时, C_1 又开始放电, 放电使 V_c 降到 $V_{cc}/3$ 时, C_1 再次开始充电, 如此周期性地重复, 在输出端就得到一个占空比固定不变的矩形波, 其脉冲的频率为

$$f = \frac{1}{t_L + t_H} \approx \frac{1.43}{(R_B + 2R_A)C_1} \quad (4)$$

利用式(4), 测得输出脉冲的频率后, 就可以反过来得到土壤的阻值, 而土壤的阻值是土壤湿度息息相关的。

2.3 单片机后处理

前端处理电路输出的脉冲信号直接接入到单片机的计数器输入端进行处理得到频率值。由于实际测量输出频率范围在 0.1 ~ 8 kHz 之间, 所以采用定时计数的方式。定时器配置成外部脉冲计数方式, 单片机定时 1 s, 1 s 中断来到时, 读取计数

脉冲数并复位计数器。由于土壤水分含量是一个相对稳定的缓变量, 所以采用 1 s 计数采样来刷新数据, 能够满足测量的需要。

3 结果与讨论

3.1 湿度测量

土壤湿度测量主要测的是土壤的含水量^[6], 它是衡量土壤水分状况的一个重要指标, 土壤的含水量, 也被称作土壤水分含量, 土壤湿度或是土壤湿度率等, 它的常用表达方式主要有两种^[7]:

1) 土壤湿度 W : 土壤中所含水分的重量 (m_w) 与用烘干法去除水分后的干土的重量 (m_s) 的比值, 即

$$W = \frac{m_w}{m_s} \quad (5)$$

2) 体积含水量 θ : 也可称容积含水量, 是土壤中所含水分的体积 (V_w) 与土壤总体积 (V) 的比值, 即

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad (6)$$

3.2 实验验证

实验中制作了 10 个土壤样本, 通过烘干法测量土壤湿度, 可精确测得它们的含水量, 通过交流阻抗法, 分别测量这 10 个样本的频率, 得到的数据如表 1 所示。

表 1 频率和含水率对应关系

Tab.1 Corresponding relationship between moisture content and frequency

	W / %									
	0	2	4	5	6	8	10	12	15	17
f / Hz	72.32	738.1	1 404	1 736	2 069	2 735	3 401	4 066	5 064	5 730

利用 MATLAB 对实验数据进行拟合得到如图 3 所示的曲线。

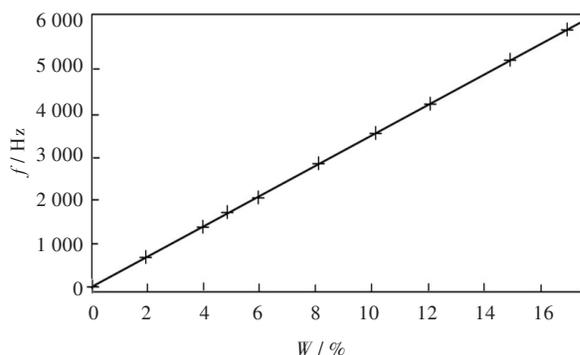


图 3 含水率与频率的对应关系

Fig. 3 Corresponding relationship between moisture content and frequency

由图 3 可知, 电路振荡的频率 f 与土壤湿度 W 服从线性函数规律, 拟合方程为

$$f = 332.79 W + 72.466 \quad (7)$$

即

$$W = \frac{f - 72.466}{332.79} \quad (8)$$

因此, 测出振荡电路的频率, 就可根据上面的公式计算出土壤的湿度, 将这个方程写入单片机的程序中, 单片机分别与振荡电路和上位机相连, 就可以实时测量土壤湿度的变化。

4 结 语

运用多谐振荡器原理,使用NE555芯片构成的振荡交流电路测定土壤湿度的方法,有效克服了传统电阻法测量土壤湿度时电极的极化问题,由于NE555输出的是数字信号,无需模数转换,连上单片机后就能轻松地测量出芯片NE555产生的矩形脉冲频率,进而求出土壤当前的湿度值,实现了快速测量土壤的湿度值,同时也保证了测量的精度.另外,由于NE555内部的比较器有较高的灵敏性,而且使用的是差分电路,所以电源电压和温度变化对由NE555组成的多谐振荡器的振荡频率的影响很微小,这也在一定程度上保障了湿度测量的精准性.经实验证明上述测量方法使用方便、测量速度较快、准确度较高,并且造价低廉,值得推广.

参考文献:

- [1] 王振龙,高建峰.实用土壤墒情监测预报技术[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 辽宁省农业科学院.农作物生产技术手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1998.
- [3] 邵明安.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [4] 陈本华,张家宝,赵春生.土壤湿度测量两种常用方法的对比及中子探测过程的标定[J].核农学通报,1995(1):43-45.
CHEN B H, ZHANG J B, ZHAO C S. Comparison of two common methods of soil moisture measurement and calibration of neutron detection process [J]. Nuclear agricultural bulletin, 1995 (1): 43-45.
- [5] 李景禄.实用电力接地技术[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [6] 桑以琳.土壤学与农作学[M].北京:中国农业出版社,2005.7.
- [7] 张进秋.现代土壤湿度的测量方法问题见解[J].土壤学进展,1989(5):47-49.
ZHANG J Q. Measurement methods of modern soil moisture insights [J]. Advances in soil science, 1989(5): 47-49.

本文编辑:陈小平