

一种测量土壤含水率的新型传感器

石庆兰^① 赵燕东

(中国农业大学电子电力工程学院)

摘要 根据时域反射技术原理,研制了测量土壤含水率的一种新型传感器。实验结果表明,其测试精度符合用户需要。

关键词 土壤含水率;测定;时域反射法;传感器

中图分类号 TM 930.124; S 152.7

A New Sensor Used in Soil Water Content Measurement

Shi Qinglan Zhao Yandong

(College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU)

Abstract According to the principles of time domain reflectometry, a new kind of sensor of soil water content measurement is explored. Test results show that the measurement accuracy of the sensor can fit the requirements.

Key words soil water content; determination; time domain reflectometry; sensor

土壤含水率是农田灌溉中的主要性能指标。准确测量土壤含水率十分重要。传统的测量方法主要有采样检验法,其测量值虽然精确,但必须把土壤从田里移至实验室。此外,还有中子散射法和光子射线衰减法等。这些放射性测量方法有辐射,会危害人体健康。笔者根据一种新的测量方法——时域反射(time domain reflectometry, TDR)法^[1]的原理,研制出一种新型土壤含水率测量传感器,使用结果表明其测量误差符合用户要求。

TDR 是由研究多孔媒介的水分含量逐渐发展起来的一种技术,许多国家据此研制的产品已投入市场。我国尚处于探索阶段。其原理主要是利用导电性来测量土壤的含水率。

电信号在导电介质中沿传输线传输,其电压的振幅关系式^[2]可表示为

$$U_r - U_t = U_i \exp(-2al)$$

式中: U_r 为信号在始端不完全反射时的信号振幅; U_t 为在探针末端反射后的信号振幅; l 为探针长度; a 为衰减系数, $a = 60 \gamma \pi / \epsilon^{0.5}$,其中 γ 为媒介的导电率, ϵ 为介电常数。

当土壤含水率不同时其导电率不同,故振幅的变化也不同,因此,通过测定激励与反射信号振幅的变化,便可确定土壤含水率。

土壤含水率测量传感器^[3]主要由 100 MHz 振荡电路和同轴传输线组成。100 MHz 高频振荡电路产生的 100 MHz 正弦波作为传感器的激励信号。同轴传输线中心探针是不锈钢棒,外面套有直径为 22 mm 的不锈钢管,两端由尼龙套固定,尾部与不锈钢管相连的还有 3 根接地探针。

收稿日期:1998-07-21

①石庆兰,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)69 信箱,100083

高频振荡信号沿着传输线传输到土壤探针。由于探针阻抗与传输线阻抗不同,部分高频信号将沿传输线被反射到信号源。反射系数 ρ 可用下式表示:

$$\rho = (Z_p - Z_l) / (Z_p + Z_l)^{-1}$$

式中: Z_p 为探针阻抗; Z_l 为传输线阻抗。

实际上土壤探针末端处的信号也产生多次反射。这些反射的表达式很复杂,但传输线/土壤探针结点处的反射起主要作用,因此这里仅考虑在传输线/探针处的第 1 次反射。

振荡源在传输线的起始处加的信号为 $U_0 = a' \sin 2\pi ft$ 。式中: a' 为幅值; f 为振荡频率; t 为时间。同一点处信号的叠加量为 $U = a' \sin 2\pi ft + a' \rho \sin 2\pi f(t - 2L/v_p)$ 。式中: L 为传输线长度; v_p 为信号沿传输线的传播速度。若将传输线长度做成 $v_p/4f$, 那么叠加量为 $U = a' \sin 2\pi ft - a' \rho \sin 2\pi ft = a'(1 - \rho) \sin 2\pi ft$ 。峰值电压 $\dot{U} = a'(1 - \rho)$, 此峰值在振荡器的每个周期都出现 1 次。同理可以推导出在传输线/探针结点处电压峰值表达式 $\dot{U}_j = a'(1 + \rho)$, 因此传输线两端电压幅值差为 $\dot{U}_j - \dot{U} = 2a'\rho = 2a'(Z_p - Z_0) / (Z_p + Z_0)^{-1}$ 。

由于土壤探针的相对阻抗与土壤介质的介电常数有关,而土壤介电常数又与土壤含水率有关,因此通过测量电压幅值差即可确定土壤含水率。

利用根据上述原理制成的土壤含水率测量传感器,对含水率不同的土壤进行测量,并对取得的实验数据求拟合曲线,确定出激励信号和反射信号振幅差与含水率变化的关系,如图 1 所示。经曲线拟合,土壤含水率 w 与电压差 ΔU 的关系为 $w = 6.352 \exp(1.176 2\Delta U)$ 。

中国农业大学从澳大利亚作物灌溉技术服务公司引进的 Trase 系统是一种基于 TDR 原理的测试仪,但其价格昂贵,而笔者应用 TDR 原理开发的土壤含水率测量传感器大大降低了成本,实验结果表明各项指标接近 Trase 系统,误差符合用户要求。

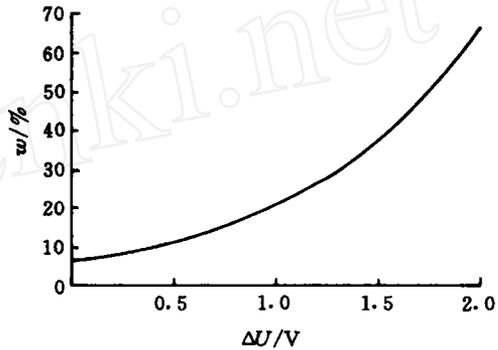


图 1 土壤含水率 w 与电压差 ΔU 关系曲线

参 考 文 献

- 1 Spaans E J A, Baker J M. Simple baluns for time domain reflectometry. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57:668~673
- 2 Topp G C, Davis J L, Annan A P. Electromagnetic determination of soil water content measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour Res*, 1980, 16:574~582
- 3 Zeglin S J, White I, Jenkins D R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurements using time domain reflectometry. *Water Resour Res*, 1989, 25:2367~2376