

智能化田间土壤水分测定仪的研制

马孝义 熊运章 王庆玺 孙明勤 贺正中

(西北农业大学·陕西杨陵·712100)

(陕西省水利厅·西安市·710004)

摘要 该文在简要介绍了笔者研制的土壤水分传感器的基础上,着重介绍以单片微机为基础,适用于田间野外工作的智能化土壤水分测定仪的软硬件及特点。

关键词 土壤水分 单片机 硬件 软件

The Development of Intelligent Instrument of Field Soil Moisture Measurement

Ma Xiaoyi Xiong Yunzhang Wang Qingxi Sun Mingqin

(Northwestern Agricultural University 712100)

He zhengzhong

(Water Resource Bureau of shanxi province 710004)

Abstract Based on simple introduction to the soil moisture sensor developed by us, the hardware and software of the intelligent instrument based on single-chip microcomputer of soil moisture are discribed and discussed.

Key words soil moisture single-chip microcomputer hardware software

田间土壤水分测定是农业、水利、水保等许多领域的一个重要问题,到目前为止仍缺乏满意的方法。为此笔者研制了一种以单片微机为核心的便携式智能化土壤水分测定仪,就其基本原理与特性作一简要介绍。

1 土壤水分传感器的基本原理与特性

测定仪采用笔者研制的集成电路电容式土壤水分传感器,其原理是在一定的电磁频率范围内,土壤的介电常数与其内的土壤颗粒、空气、水的介电常数和各自的体积含量相关。

$$\sqrt{\epsilon} = \theta \sqrt{\epsilon_{\text{水}}} + \frac{\rho}{G} \sqrt{\epsilon_{\text{土}}} + (1 - \frac{\rho}{G} - \theta) \sqrt{\epsilon_{\text{空}}} \quad (1)$$

由于 $\epsilon_{\text{水}} = 78.54(20^{\circ}\text{C})$, $\epsilon_{\text{土}}$ 随土壤颗粒的化学组成而变化,一般在 4—7 之间, $\epsilon_{\text{空}} = 1$ 。由此有:土壤的介电特性强烈的受土壤水分含量的影响;土壤容重,质地、化学组成、温度对其介电特性有一定的影响,但影响较小。土壤水分传感器就是利用集成电路将土壤含水量的变化转换成线性化脉冲频差信号来实现土壤水分的测定,其基本特性见图 1。

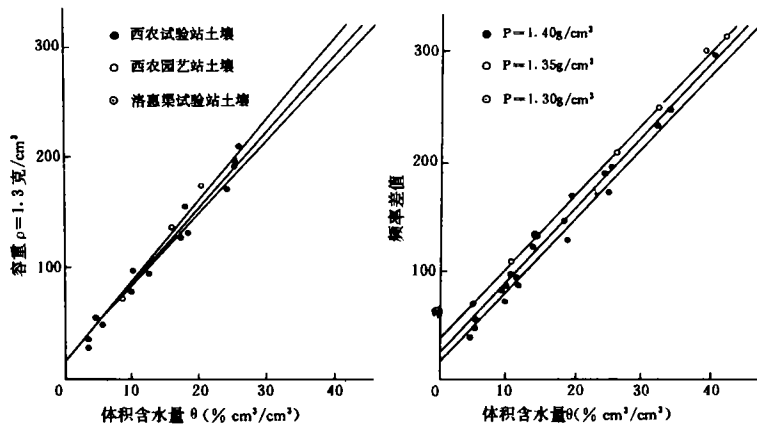


图 1 土壤水分传感器的特性

由图 1 可看出:土壤含水量与传感器的输出频差 f_{Δ} 有如下关系:

$$\theta = A(f_{\Delta} - B) \quad (2)$$

土壤容重、质地对传感器的测量有一定的影响,在精确测定土壤水分时,这些影响就应通过软件措施予以减小。

2 硬件设计

硬件设计的合理性决定系统性能的优劣。在设计中坚持以下原则:尽可能选用典型电路,以求标准化;系统扩展和外围芯片选择应充分考虑应用系统要求,并留适当的扩展余地;硬件与软件一起考虑,尽可能用软件来实现硬件功能;充分考虑相关器件的性能匹配;芯片选择、去耦、布线、隔离措施要一起考虑,以提高抗干扰能力。

2.1 基本单元的构成

测定仪的硬件原理见图 2。它由 80C39 单片机、EPROM 存储器、LCD 显示器、键盘、CASIO—HR—8 型计算器微型打印机及辅助电路组成。

2.1.1 单片机 80C39 测定仪的核心是单片微机 80C39,它具有运算部件,128 个字节的数据存储器(RAM),双向标准 8 位地址/数据总线 BUS 口两个 8 位双向 I/O 接口 P1、P2,定时器/计数器(T/C),时钟电路等,功能强,功耗低。

2.1.2 程序存储器 各种程序和表格等都固化在 4K×8 位的 EPROM 27C32 中,利用 80C39 的 BUS 传送地址,数据信号经 BUS 口,在地址锁存允许信号 ALE 的控制下,经地址锁存器 74HC373 输出,做为 EPROM 27C32 的低 8 位地址。而 27C32 的高 4 位是由 80C39 带锁存的端口 P20—P23 输出选通,80C39 的程序选通信号 $\overline{\text{PSEN}}$ 用于 27C32 的输出选通。BUS 口还与 27C32 的 8 位数据线 D0—D7 相连,做为复用线传送数据

2.2 人机对话通道

2.2.1 键盘 键盘扫描信号采用 P24—P27 端口,经驱动器 75492 输出,而键盘输入信号是利用 80C39 的 $\overline{\text{RD}}$ 信号选通 74HC244,经 BUS 读入 80C39 的累加器中。

2.2.2 液晶显示(LCD)单元 LCD 显示器接口是利用 80C39 的 BUS 口,由其 $\overline{\text{WR}}$ 信号触发并锁存在 74HC273 实现。图 3 为 6 位液晶显示电路。LCD 采用 6500 显示屏,背极 BP 由 4047

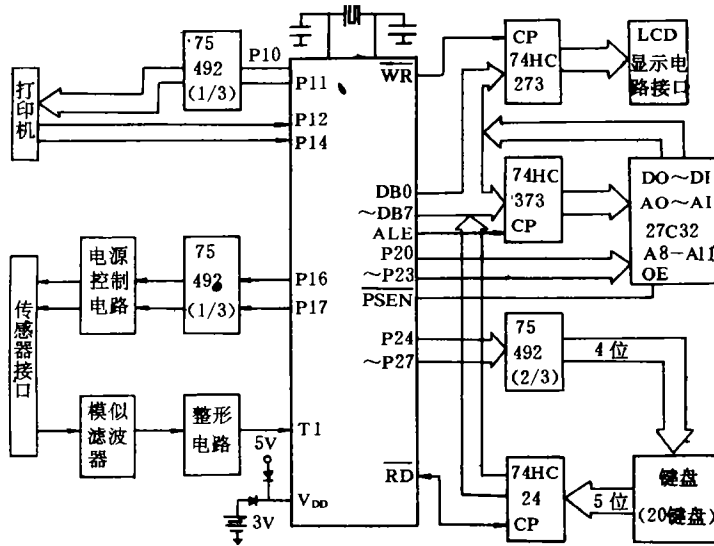


图 2 硬件系统结构

构成的振荡器电路提供方波信号,5 个 4056 为 BCD 七段译码驱动器,做为五位 LCD 数码显示器的驱动器,1 片 4054 为 4 位液晶显示驱动器,4 进 4 出,做为 4 位小数点驱动,另外两个 4054 作为液晶显示器的首位数码驱动,以使其产生第一位对应字码 γ (容重),F(测频),P(正常)工作,S(湿度转换)等,故共需 3 片 4054。4054、4056 的字码由 80C39 的低 4 位 DB0—DB3 经 74HC273 锁存输出;对应的 DB4—DB7 分别 4—16 译码,用于上述的 LCD 显示器的字位选通,输出高电平选通信号控制 4056、4054 进行数据锁存,由此实现对 LCD 显示电路的控制。

2.2.3 打印机接口 80C39 的 P12—P14 用于打印机信号检测。而 P10—P11 经 75492 驱动器提供微型打印机的打印磁铁和电动机电源。上述信号线与电源,地线配置在一起,组成打印机接口。

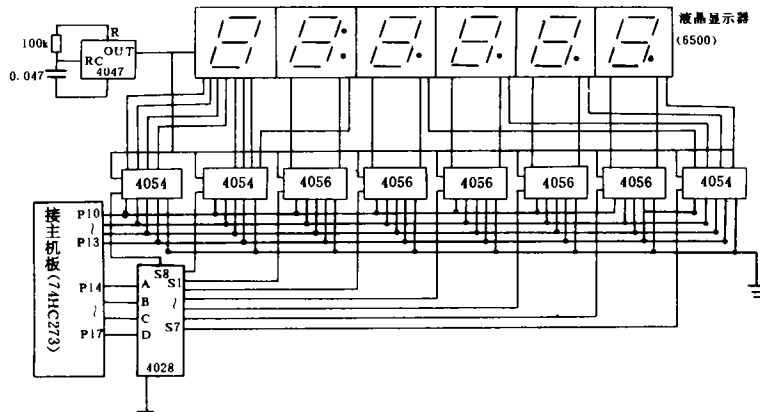


图 3 LCD 显示单元

2.3 传感器的控制和数据系统

80C39 的 P16、P17 端口通过驱动器 75492 实现对传感器电源控制,以产生频差信号,通过定时器/计数器口 T1 实现频差计数测量,为确保测频正确,脉冲信号选经滤波器滤波,再经整形电

路整型。

2.4 充电电路

考虑到野外工作,仪器采用全密封免维护蓄电池,它容量大、免维护、成本低,并设计了充电电路,为方便使用并保证电池的安全,设计中采用最大充电电流限制和充足自动关闭电路,见图 4。

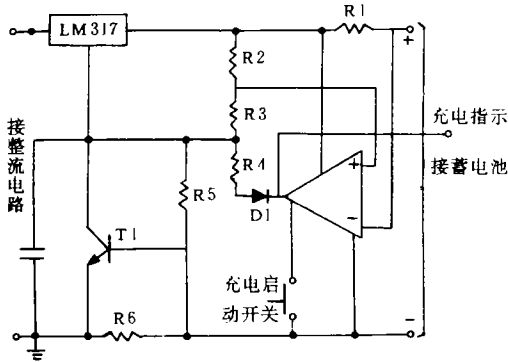


图 4 充电电路

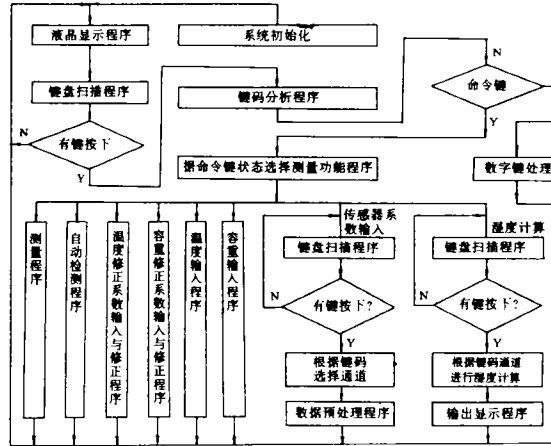


图 5 监控程序结构

电路中由 R2、R3、R5 和稳压器 LM317 实现对最大充电电压控制。R1、R2、R4、D1 经运放对电池充电进行控制,电池充足时运放输出低电平,吸收经 R2、R3 流入的电流,从而降低 LM317 电压,自动关闭充电电路并指示,以避免过充电。充电启动开关提供启动脉冲,三极管 T1 与 R6 联合对最大充电电流进行限定,以防止大电流强力充电。其中 $I_{最大} = 0.6/R6$, $I_{充满} = 0.09/R1$ 。

3 软件设计

测定仪的软件不是单一的控制程序,而是系统实现人机对话,得一正常运行不可缺少的软件系统。为优质高效的研制出这一软件,采用以下技术措施。

3.1 程序的快速设计方法

3.1.1 采用快速软件开发模式 目前的软件研制大多采用生命周期法,它包括任务描述、程序设计、编码、纠错、测试和编写文件等过程,其设计的软件易读、易查、易调试,但前期工作量大,开发速度较慢,而汇编语言是机器语言,与硬件联系十分紧密。若采用生命周期法,由于前期工作量大,如联调发现前面设计不合理时,所做的返工也较多。为此采用了快速软件设计模式,其过程为确定初始基本需求,构造初始基本系统,然后逐步增加功能,完成系统要求。

3.1.2 开发支撑软件 支撑软件是软件的多个不同位置中反复调用的具有一定通用性的程序,支撑着系统。优先开发支撑软件,可减少重复劳动,加快开发速度。测定仪软件中的键盘扫描及键码分析,传感器控制和测频计数、定时、数据处理中的比较和多字节数学运算及循环显示程序是最基本的支撑软件,软件中进行优先开发,供以后编程调用。

3.1.3 移植现有程序 程序中移植了许多经过检验的高效可靠程序模块。

3.2 监控程序的结构

测定仪尝试利用软件键的键控程序的设计结构模式,见图 5。

在系统开机后,首先执行初始化和 RAM 的检查,检查其内的传感器参数是否完好,然后扫描键盘,分析键值,判断其为命令键,还是数字键状态,转入相应的处理。

仪器中设计可带 6 个传感器,对应 6 组传感器系数,在系数输入和含水量计算时,程序先进入相应的输入系数或水分计算状态,再通过进一步键盘扫描,分析传感器编号,转入相应的处理。

3.3 结构模块编程和有序层次化程序设计

仪器采用模块化编程,根据子程序的实现功能要求,文中分别编制以下几类子程序,它们是各种定点、浮点二进制、十进制、排序子程序等数学运算类子程序,码制转换,表格处理,控制,数据采集,抗干扰,键盘和显示等 50 多个子程序组成。

3.3.1 有序分层模块法的程序组织 软件中的各个子程序相互调用,将显著减少程序编制的工作量。但子程序较多时,其层次调用关系将十分复杂,稍有不慎将可能导致程序调用关系混乱,一般情况下是在程序编制前,绘制控制关系图,以明确程序的调用关系,但对较复杂的汇编语言,绘制其结构往往是困难的,以结构图为基础组织程序,也不利于在程序编制过程中的分步调试。为此采用有序分层法组织程序。

3.3.2 充分利用标志单元对程序运行进行管理 在一些模块中,其运行经常可能与模块内外及各种前期状态有关,为此在程序编制中,特别注意标志单元的运用,以规范的编制程序。现以数字键处理子程序为例予以说明,见图 6。

在输入一组数据时,需要重复调用数字键处理子程序,完成组内多位数据的输入。有以下相关的几个标志和指示单元,用以协调程序该子程序内外的关系。

(1)数字键允许标志:该标志在传感器特性、容重、温度及修正系数的输入程序中被设定为允许状态,在测量等其它程序中设定为不允许状态,以防止在测量等程序执行时,输入数据,造成程序执行混乱。

(2)小数点输入允许标志:在数据输入开始前,被其它程序设定为允许状态,小数点输入完毕后,设定为不允许状态,以防止小数点的重复输入。

(3)数据位数指示和标志:该单元有两种功能,①在数据输入过程中用做指示,指示数据,数。②被用做标志,后者又有两个功能。a 第一位数码输入标志(其值为 0):在执行传感器特性系数输入程序时,将其设定为第一位数据标志,用以标志在数据输入时,执行显示消隐。在第一位数据输入完毕后,修改标志,以防止该程序在第二位数码输入时被重复调用,再次调用显示消隐程序段,造成错误。b 末位数码输入完毕标志(其值为 4),在数据末位数码输入表明数据输入结束,

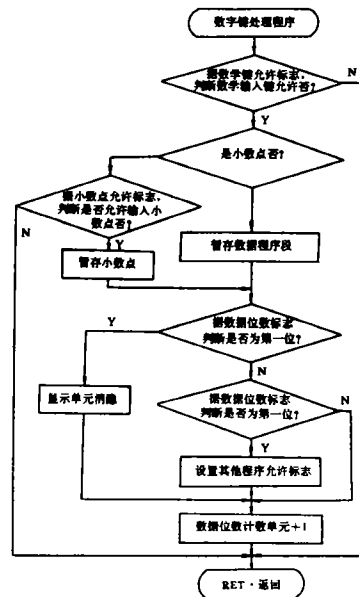


图 6 数字键处理子程序

设定命令键允许标志,允许其他程序执行。在数据输入未结束时,禁止其他程序执行,以防止在数据输入未结束时,执行其他程序,造成错误。

(4)命令键允许标志:允许命令键执行。

从图 6 可以看出:正是由于合理应用标志,使得程序更加结构化。

3.4 人机界面的设计

为加强仪器和操作者的相互协作,改善人机界面,程序采用如下措施。

合理的安排功能键位,以方便使用者记忆。

利用容错技术:在仪器操作中,由于生理疲劳、技术熟练状况和外界的干扰,难免发生误操作,对常见的错误不采用友好的状态加以容忍,会造成程序的中断。在软件设计中利用容错技术以检查输入参数的合理性,如在参数设定、水分换算过程中,由于只能对 6 个传感器特性进行操作,所以其通道数只能在 1—6 之间,因此在程序设计中其的数字键容许其在 1—6 之间,在参数的输入中只有 0—9 和小数点才为有效键,小数点只能输入一次;而且只有在当参数输入完毕后,才能赋命令键输入允许标志,允许输入其它功能键等。

3.5 仪器的自检和连接自动诊断

3.5.1 自检 为防止各种干扰可能带来的仪器参数变化,而得到错误的结果,软件中设计了自检程序,其基本原理为对每一个参数均用一个二字节 BCD 码表示,另加半字节的小数点指标。将这两位半字节的二进制字码按半字节累加求反,存入另外半个字节做为参数保存完好的标志,在自检程序中对每个参数的数据进行检查,不符时指示出错,供使用者修改。

3.5.2 传感器和测定仪连接状况的自动诊断 在测定过程中,有可能出现某个传感器和测定仪连接不良而产生错误的测量结果,为此设计了自动诊断程序,如传感器和测定仪的连接完好,因传感器特性,测定仪采集的频差必在一定的范围内。如不在则指示出错,供用户检查。

3.5.3 “飞车”问题和程序“陷井” 为防止电气干扰等可能造成程序执行混乱,软件中设置了程序“陷井”。掉入“陷井”时程序转移到初始化程序段,重新初始化。

3.6 软件抗干扰和数字滤波

为抑制各种噪声和干扰,采用了数字滤波,据传感器中最多可能是脉冲尖峰干扰的特点,采用防脉冲平均值法滤波子程序,其过程为首先对多次采样的数据排序,去掉最大、最小值,计算平均值。

4 测定仪的田间实验结果

对研制的便携式水分测定仪,给出其在西北农业大学灌溉试验站附近 1Km 左右的 5 个田块,不考虑容重影响时的土壤水分测定结果,见图 7。

将测定的结果整理与实测结果对比测定误差见附表,表中同时附有现有方法的误差。

表中:

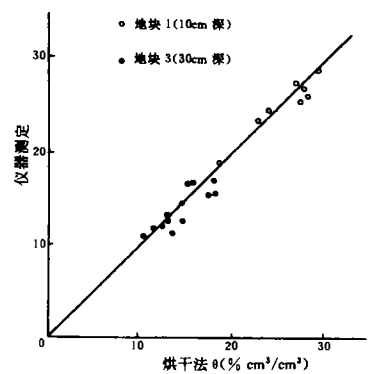


图 7 仪器的部分田间实验系统结果

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_{\text{实测}} - \theta_{\text{仪器}})^2 / n}$$

由此可以看出:该方法能达到 TDR 法、中子法相比拟的精度,但成本比 TDR 法低得多,相当于中子法,它不需分田块标定,对人体无危害,能测定浅层土壤水分。

附表 测定仪测定结果与实测结果对比

地块	1		2	3	4	5	平均	TDR 法 ^[5]	中子法 ^[6]	
深度(cm)	10	30	30	30	30	30		10—20	10	20
SD	1.46	1.72	1.68	1.83	1.09	1.86	1.64	2.10	1.86	1.65

5 结 语

测定仪采用的 CMOS 单片机具有使用元件少、耗电低、能用于田间野外测量的特点,在硬件设计中采用模块化设计具有一定的代表性,对其进行适当的组合,可以适用其它田间智能仪表设计的需要。仪器采用软件工程学的基本原则,采用快速编程方法,使用软件键的键控程序结构,模块化编程,有序分层法程序组织,合理使用标志,人机对话,容错技术,数字滤波,自检和自动诊断等程序设计方法,对其它田间野外智能化仪器的设计有参考价值。由于土壤的复杂性,传感器和测定仪还有待完善。

参 考 文 献

- 1 汪懋华. 微电子技术在农业中的应用与加强研究开发建议.《农业工程学报》,1990年,第2期
- 2 沈兰逊. 智能仪器用其应用. 北京:能源出版社,1987
- 3 何立民. MCS-51 单片机应用系统设计—系统配置和接口电路. 北京:航空航天出版社,1980年
- 4 周兆敏. 高精度电子天平的微机系统.《自动化仪表》,1988年,第8期
- 5 Topp,etal,Measurement of soil water content using TDR:A field evalation,Soil Sci. Soc. of America Journal, 1985:49(1)
- 6 Haverramp etal,Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurement, 1984;137(2)