

# 增益自调节型空气负离子计数器设计

练开明<sup>1</sup>, 陈文凤<sup>2</sup>, 郑金贵<sup>2</sup>, 吴仁焯<sup>2</sup>, 杨志坚<sup>2</sup>, 罗志聪<sup>1</sup>, 叶大鹏<sup>1</sup>

(1.福建农林大学机电工程学院, 福建福州 350002;

2.福建农林大学农产品品质研究所, 福建福州 350002)

**摘要:**设计一种增益自调节空气负离子计数器。该装置以STC15F2K16S2为控制器,AD采样器,以CD4052为电子开关,MAX7426为滤波器,通过增益切换实现负离子计数器量程自动调节。试验结果能反映植物负离子机开机时不同距离的负离子浓度,表明该设计抗干扰能力强,结构简单,方便测量,满足不同浓度的空气负离子测量要求。

**关键词:**负离子计数器;增益自调节;开关电容滤波器

中图分类号:TH7

文献标志码:A

文章编号:1672-4348(2017)01-0044-05

## The design of negative air ion counter with gain self-adjustment

Lian Kaiming<sup>1</sup>, Chen Wenfeng<sup>2</sup>, Zheng Jingui<sup>2</sup>, Wu Renye<sup>2</sup>,

Yang Zhijian<sup>2</sup>, Luo Zhicong<sup>1</sup>, Ye Dapeng<sup>1</sup>

(1.College of Mechanical and Electrical Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2.Agricultural Product Quality Institute, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** An air negative ion counter with gain self-adjustment was designed. The device comprises a STC15F2K16S2 controller, a sampler AD with an electronic switch CD4052 and a Max7426 switch-capacitor filter, which can automatically adjust the range of negative air ion counter via gain switching. The results show that the design is of strong anti-interference, and is convenient to measure negative air ions with simple structure. In addition, it can detect the concentration of negative air ions in different distances, satisfying the requirements of measuring negative air ion concentration.

**Keywords:** negative ion counter; gain self-adjustment; switch capacitor filter

空气负离子具有促进人体新陈代谢、增强免疫力等功效,人们将其比作空气中“维生素”“生长素”和“长寿素”<sup>[1]</sup>。世界卫生组织(WHO)对清新空气标准的规定如下:空气中的负离子浓度不低于1 000 ion/cm<sup>3</sup>。据统计,人1天中70%~80%的时间都在室内。室内的空气污染会对人们的健康造成严重伤害,应对室内的空气质量给予更高的关注。据国外研究机构对室内连续几年的检测结果表明,目前为止,室内至少发现上千种化

学物质,其中一些化学物质所含有毒物质是室外的数十倍。人们在室内容易产生疲劳、困倦、呼吸不适的症状。因此室内负离子浓度作为环境质量好坏的一项重要指标<sup>[2]</sup>,其监测显得尤为重要。

目前负离子测量仪为平板式、电容式、格栅式和球式,后3种一般用于专业精密测量仪器<sup>[3]</sup>,对材料要求高,制作难度大,制作成本高,不适用于一般个人和家庭日常使用,而且量程多为手动切换,易出现超量程问题。本设计空气负离子计数

收稿日期:2016-12-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31500207)

通讯作者:叶大鹏(1971-),男,福建霞浦人,教授,硕士生导师,博士,研究方向:环境监测与控制。

器采用平板式采集器, 简化了仪器结构, 采用增益可变方式, 实现量程自动调节, 提高了空气负离子测量范围, 方便使用。以下主要从空气负离子计数器调理电路设计与测量系统软件两个方面展开论述。

## 1 空气负离子计数器整体设计

负离子计数器系统框图如图 1 所示, 负离子计数器包含电荷采集板, 调理电路, 微控制器 (MCU), 数据存储单元, 光电隔离数据采集串行通信模块, 以及显示模块。电荷采集板由具有良好导电性和抗氧化的奥氏体不锈钢制成。当空气中的负氧离子撞击到电荷采集板后, 负离子会存储在电极板上, 并产生电压。一个接地采样大电阻与极板相连, 形成微弱电流<sup>[4]</sup>。信号调理电路将电荷采集板上的电压滤波放大, 并输入 MCU 自带的模数转换器。通过相应的数值分析, 最终在显示器显示出空气中负离子的浓度值, 同时通过数据采集模块上传至 PC。

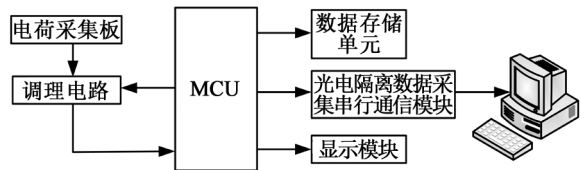


图 1 负离子计数器系统框图

Fig.1 System block diagram of negative air ion counter

## 2 前端调理电路设计

空气负离子前端调理电路包括阻抗变换器, 差分仪表放大电路, 模拟开关电路, 末端缓冲器, 以及开关电容滤波电路。图 2 为前端阻抗变化器设计, 其作用是隔离电荷采集板和后级差分放大电路。该阻抗变化器由运算放大器 CA3140 构成。该运算放大器既有极高的输入阻抗和极小的输入失调电压, 适合用于微弱电信号采集前端。VR1 和 VR5 为输入失调电压调零电阻。

### 2.1 增益差分仪表放大电路设计

增益差分仪表放大器电路如图 3 所示。其作用是对前端阻抗变换器微弱信号差分放大。该差分仪表放大器电路由 AD620 仪表运算放大器、增益调节电阻、外部参考电压电路构成。该电路仪用运算放大器采用经典三运放设计, 既有极低的

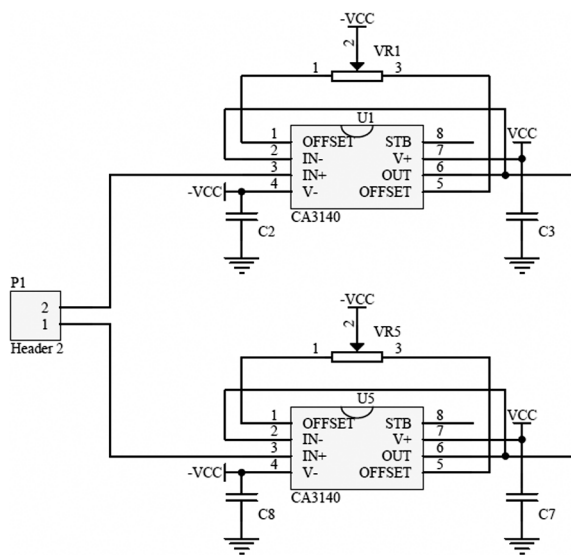


图 2 阻抗变换器电路

Fig.2 Converter circuit of impedance

失调电压, 外部程控可调的增益, 又有很高共模抑制比, 能极大地抑制共模信号, 放大差模信号, 提高信噪比<sup>[5]</sup>。C1、C4、C5、C6 为运算放大器旁路电容, 能有效地滤除干扰。RG1、RG2 两端接增益调节电阻, 用于调节 AD620 输入信号放大倍数。OP07CP 作为电压跟随器, 为该仪表运算放大电路提供稳定的参考电压。

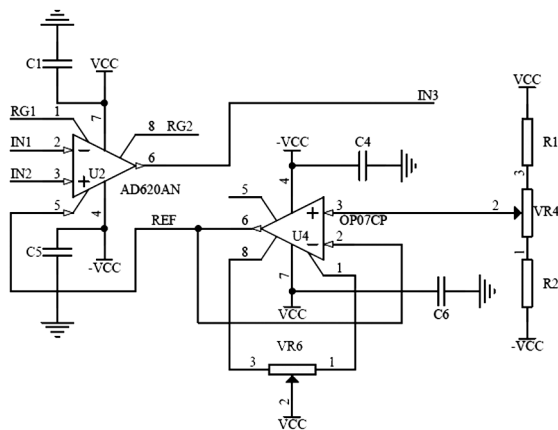


图 3 增益放大电路

Fig.3 Amplifier circuit of gain

### 2.2 模拟开关电路设计

由于空气离子浓度的测量范围比较宽, 若放大电路采用固定的增益, 则可能会导致放大信号在模数转换器的测量范围之外, 引起测量误差<sup>[4]</sup>。图 4 为数控模拟开关设计, 其功能是通过 MCU 程控方式切换模拟开关实现 AD620 增益调

节,从而实现量程切换,提高测量精度。该电路由增益电阻 R3、R4、R5、R6 和模拟开关芯片构成。

该芯片为 CD4052 是差分 4 通道数控制模拟开关,有 A、B 两个二进制输入端和 INH 输入,低导通阻抗与截止漏电流,其真值表如表 1 所示。设计选择 Y 通道为连接通道,RG1、RG2 分别接仪表放大器 AD620 增益选择电阻、Y 端,引脚 6 中 INH 接地,选通芯片,引脚 A、B 引脚与控制器 I/O 口相连接,通过改变两输入引脚中二进制信号,分别选通 Y0~Y3 中任一通道,从而接通 R3~R6 中任一电阻,实现 AD620 增益改变,使量程切换。

表 1 CD4052 真值表

Tab.1 Truth table of CD4052

INH	B	A	选通 X 和 Y
0	0	0	X0, Y0
0	0	1	X1, Y1
0	1	0	X2, Y2
0	1	1	X3, Y3
1	X	X	不选通

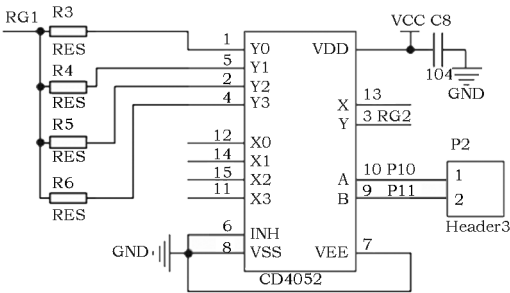


图 4 模拟开关电路图

Fig.4 Diagram of analogue switch circuit

### 2.3 输出缓冲器设计

输出缓冲器设计如图 5 所示。其作用是隔离 AD620 仪表放大器和后级开关电容滤波器电路。该输出缓冲器由 OP07CP 构成。该运算放大器 OP07CP 输入失调电压极值,噪声小,开环增益高,电源范围宽,稳定,适合用于仪表运算放大器输出端。VR3 为运算放大器失调电压调零电阻,用于电路调试。

### 2.4 程控滤波器设计

所设计的低通滤波器工作原理如图 6 所示。电路正常工作条件是 K1 和 K2 的频率  $f_{CLK}$  远大于

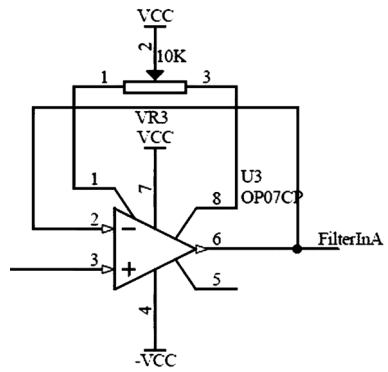


图 5 输出缓冲器电路

Fig.5 Circuit of output buffer

输入信号  $U_i$  频率,开关电容单元可等效成电阻  $R$ 。由式(1)-(3)可知,滤波器通带截止频率  $f_c$  取决于时间常数。截止频率  $f_{CLK}$  为时间脉冲,由外部芯片给定,相当稳定,  $C_1/C_2$  是两个电容量之比,在集成电路制作时,易于做到稳定<sup>[6]</sup>。因此开关电容滤波器能够做到稳定时间常数,从而使滤波器截止频率  $f_c$  稳定。

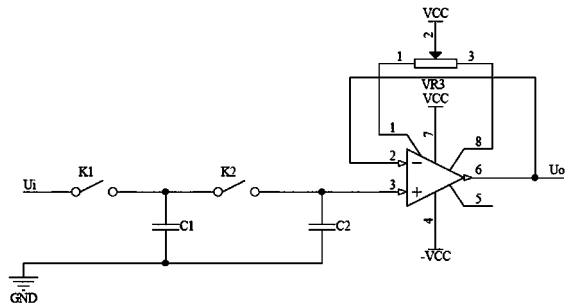


图 6 开关电容低通滤波器示意图

Fig.6 Schematic of switch capacitor low pass filter

程控滤波器电路如图 7 所示。其功能是对前端信号进行低通滤波处理,提取反映空气负离子浓度变化的电信号。该程控滤波器由 MAX 7426 单片开关电容滤波器构成,为 5 阶低通、椭圆开关电容滤波器,由 5 V 单电源供电,功耗低,输入失调电压小,而且干扰信号衰减快,截止频率脉冲外部编程可调。

$$R = \frac{T_{CLR}}{C_1}, \tag{1}$$

$$\tau = RC_2 = \frac{C_2}{C_1} T_{CLR}, \tag{2}$$

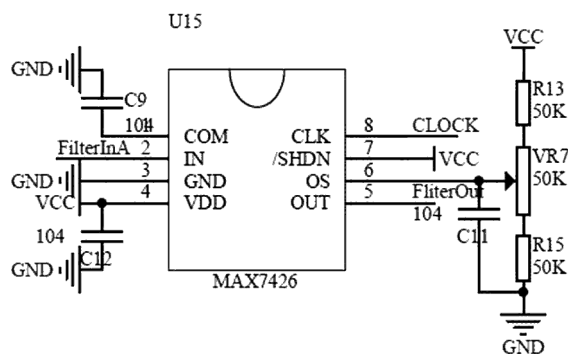


图 7 开关电容滤波器原理图

Fig.7 Schematic of switch capacitor filter

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{C_1}{C_2} T_{CLR}, \quad (3)$$

如图 7 所示,需处理电压信号由 MAX7426 滤波器 FilterInA 引脚接入, VCC 接选通端 SHDN, 使能滤波器。由于 MAX7426 截止频率  $f_p$  与外部时钟信号  $f_{CLOCK}$  由关系式  $f_p : f_{CLOCK} = 1 : 100$  决定, 通过单片机在 CLOCK 引脚输入 100 kHz 频率时钟信号, 实现了 1 kHz 的 5 阶低通滤波器设计。该设计, VR7、R13、R15 起到输入失调电压调节作用, C9、C11、C12 作为旁路滤波, 外围电路简单, 使用方便, 能够提供稳定的截止频率, 满足低通滤波要求。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 系统主程序设计

软件监控程序采用时间轮方式<sup>[7]</sup>。想要实现量程自动切换, 需要通过一个 CTC 定时中断方式, 设计一个系统软件时钟 (见图 8), 在中断中设置时间标志位, 与主程序建立联系。主循环中扫描时间标志, 执行相应时间标志下负离子测量程序, 量程切换的程序, 以及显示程序, 避免了 CPU 无谓的时间等待, 提高主程序执行效率, 下面给出了主程序的部分代码。

```
void main()
{
    InitSysTime0(); //初始化系统时钟
    InitRS232Com(); //串口初始化
    InitOled(); //Oled 显示器初始化
    InitRangeChange(); //量程函数初始化
    while(1)
    {
```

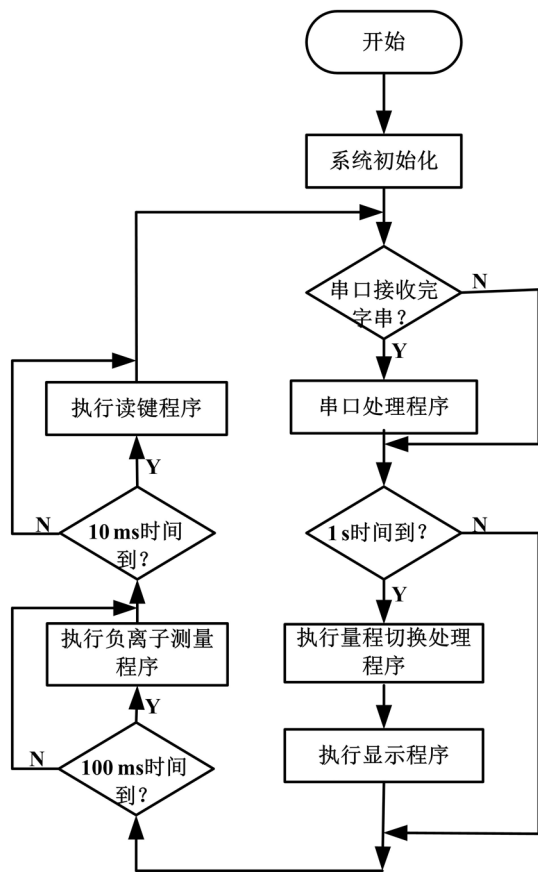


图 8 主程序程序框图

Fig.8 The block diagram of main program

```
if(Time1sF == 1) //1s 时间到了
{
    RangeChange();
    //执行程序量程自调节程序
    OledDis(IonNum);
    //执行负离子浓度显示程序
    if(Time100 msF == 1)
    {
        IONTest();
        //执行负离子测量程序
    }
    ... //其他任务
}
```

#### 3.2 系统量程调节程序设计

假设空气中负离子的移动速度和电荷采集板的面积固定, 空气中离子浓度与电流成正比。为了防止模拟开关在超、欠量程的判断中相邻量程

来回切换,采用了阈值回差的方法<sup>[4]</sup>。量程一次调节框图如图 9,当测量值超过上升量程阈值时升量程;当测量值低于降量程阈值时,降低量程;高于最高量程或低于最低量程时设为最高量程。

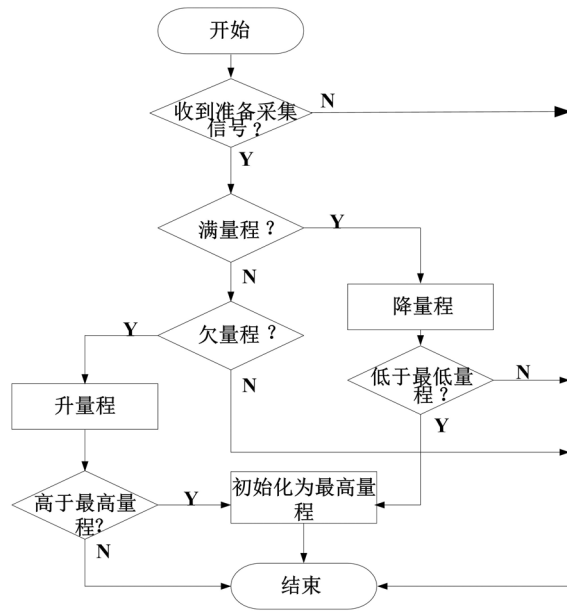


图 9 一次调节流程图

Fig.9 The flowchart of one time regulation

## 4 空气负离子计数器测量结果与结论

### 4.1 结果

选用日本 KEC-990 型负离子测定仪为参照机型,福建农林大学自主研发的植物负离子机为负离子源,进行试验。如表 2 所示,为不同距离观

测点多次测量所得空气负离子浓度均值。在外部条件相同情况下,两种型号负离子测量设备测得空气负离子浓度均值随距离增大而减小,走势相同。自制空气负离子计数器均值浓度与 KEC-990 测量均值相比,最大相对误差在 9.5% 左右,能满足家用负离子机浓度测量要求(测量环境:温度为 27~30℃,相对湿度:70%~80%)。

表 2 负离子浓度均值表

Tab.2 Mean table of negative ion concentration

距离/ m	自制负离子 计数器/ ( $10^4 \text{ ion} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	KEC-990 测量仪/ ( $10^4 \text{ ion} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	相对误差/ %
0.6	21.8	24.1	9.5
0.9	17.1	16.4	4.3
1.2	9.70	9.40	3.2
1.5	2.30	2.50	8.0
1.8	1.50	1.40	7.1

### 4.2 结论

硬件电路设计方面,针对负离子机不同测量距离浓度特点,设计了三级信号运算放大电路,满足对微弱电信号的测量。以及运用 5 阶开关电容低通滤波器,对干扰频率信号滤除,提高了信噪比。同时,采用模拟开关切换增益电阻,实现量程自动切换,更快地达到稳定测量值。软件设计方面,监控程序采用时间轮方式,方便多任务的调度,提高程序执行效率。总之,整体设计能满足家用负离子机负离子浓度测量要求。

### 参考文献:

- [1] 王薇,余庄.中国城市环境中空气负离子研究进展[J].生态环境学报,2013,22(4):705-711.
- [2] 王薇,余庄,冀凤全.基于空气负离子浓度的城市环境空气清洁度评价[J].生态环境学报,2013,22(2):298-303.
- [3] 李文昭.空气离子测量系统的研究与设计[D].保定:河北大学,2014.
- [4] 李庆,甘罕,李文昭.空气离子测量系统的设计[J].仪表技术与传感器,2013(3):64-65,68.
- [5] 王树振,单威,宋玲玲.AD620 仪用放大器原理与应用[J].微处理机,2008(4):38-40.
- [6] 童诗白,华成英.模拟电子技术基础[M].4 版.北京:高等教育出版社,2006:373-375.
- [7] 吴锤红.MCS-51 微机原理与接口技术[M].厦门:厦门大学出版社,2009:134-137.

(特约编辑:黄家瑜)