

基于互补金属氧化物半导体的高精度地沟油检测计

A high precious gutter oil detector based on complementary metal oxide semiconductor

杨洁^{1,2} 黄海深¹ 李阳军¹

YANG Jie^{1,2} HUANG Hai-shen¹ LI Yang-jun¹

(1. 遵义师范学院物理与机电工程学院, 贵州 遵义 563002; 2. 重庆邮电大学计算机科学与技术学院, 重庆 400065)

(1. Zunyi Normal College, School of Physics and Mechanical and Electrical Engineering, Zunyi, Guizhou 563002, China; 2. Chongqing University of Posts and Telecommunications, College of computer Science and Technology, Chongqing 400065, China)

摘要:利用地沟油与正常食用油的导电率不同导致单位体积电阻不同,提出一种基于互补金属氧化物半导体工艺(Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)的线性检测模块。由于使用直接选择与短接到地的方法实现电阻串分压,使得分压线性度更高。在脉冲计数的作用下,电阻分压通过与参考电压相比较可以得到不同的高电平数,不仅可以区分地沟油与正常食用油,还可以得出正常油掺入地沟油的质量分数。在检测计核心电路设计方面,由于采用 CMOS 工艺设计,所以可以实现低面积和低功耗的检测。

关键词:地沟油;互补金属氧化物半导体;电导率;电阻分压

Abstract: Since the different conductivity of gutter oil and edible oil normally result in the different resistivity per unit volume, a linear detection module based on CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) was designed, which shorted to ground combined with directly selection the resistor string to divide voltage makes more linear precision voltage divider. Under the action of counting pulse, the count resistor divider compares with the reference voltage to achieve different number of high level, which not only can distinguish gutter oil and edible oil, but also come to the mass fraction of edible oil, which incorporates gutter oil. In the design of core circuit of detector, this detector is easy to achieve low area and low power base on CMOS.

Keywords: gutter oil; CMOS; conductivity; resistor divider

广义的地沟油,泛指各种废弃的劣质食用油;狭义的地沟油,指日常生活中的餐厅、酒楼等场所从地沟隔油池中捞

取的呈黑褐色液膏状,有恶臭气味的油腻漂浮物^[1-3]。地沟油掺杂或冒充食用油现象在中国屡见不鲜,暴利是一个主要原因,但是缺乏有效的检测技术也是重要原因之一。目前常用的几种地沟油检测方法包括^[4-5]:常规油脂理化指标法、胆固醇含量判定法、薄层色谱检测极性物法、电导率法、测真菌毒素法、表面活性剂残留法等。除此之外,还有低场核磁共振技术^[6]、电子鼻^[7]、光谱技术^[8]等技术,其中核磁共振法是一种基于原子核的波谱技术,常用于鉴定有机化合物结构。核磁共振法通过检测各类油的 H-NMR (Hydrogen Magnetic Resonance Spectroscopy, 氢谱核磁共振),得到油中双键 H 的相对含量,从而作为鉴别植物油和地沟油的指标;电子鼻技术采用气敏传感器和模式识别相结合的方法进行地沟油检测,具有无损、速度快、灵敏度高优点^[6],其原理是进入电子鼻的气体通过传感器产生电信号,经过放大器和模拟/数字转换,最终进入信号处理模块与模式识别系统,完成对气体的检测和判定。但电子鼻方法发展尚不成熟,尤其是传感器灵敏度和判别分析方法的特异性尚需进一步完善^[7]。光谱技术利用检测油的光谱来鉴别地沟油与正常油,具有灵敏度高、速度快等特点^[8],主要有红外光谱法、近红外光谱法、原子吸收光谱法、紫外吸收光谱法、荧光吸收光谱法等,但同时也存在许多缺点,例如,红外光谱法存在特征峰选取困难,不易区分各类植物油的光谱图;近红外光谱法在进行化学计量学分析时,变量的选取较难等。虽然这 3 种方法从原理上是可行的,但各有优缺点,而且三者涉及的仪器设备价格都比较昂贵,操作要求高,其研究发展尚需进一步提高。

油脂属于非导电物质,电导率极低,且钠盐难溶于油脂,在正常食用油中含量很少^[9]。地沟油中残渣微粒,含有一定盐,还有酸败产生化合物也会提高电导率^[9-11]。经研究^[12-13]发现,地沟油电导率是普通食用油的 5~7 倍,食用油受污染程度越大,电导率就越大。电导率法^[12-14]快速可

基金项目:贵州省教育厅自然科学研究项目[编号:黔教合 KY 字(2013)200 号];省级重点学科(编号:黔学办发[2013]18 号);贵州省联合基金项目(编号:黔科合 LH 字[2015]7025 号)

作者简介:杨洁(1987—),男,遵义师范学院讲师,重庆邮电大学在读博士研究生。E-mail: 530966074@qq.com

收稿日期:2016-06-29

靠,而且可重复性和显著性都较好,是一种比较可靠的地沟油检测方法。刘志金等^[15]提出一种 0.5 h 鉴别地沟油的检测方法,但精度不够高。黄伟等^[16]从折光指数和电导率两个指标对地沟油进行检测,但方法较为复杂。目前,市场上检测地沟油的仪器很多,比如 DDS-307 电导率仪、CD169 测油管、CSY-SD 检测仪、TCO-L6 检测仪等,其中 DDS-307 与 CSY-SD 都是利用电导率进行检测,前者通过检测油与正常油的水相平均电导率进行比较,检测地沟油;后者利用极性物质与非极性物质的导电能力不同,通过测量两极的电价差,精确判断极性物质与非极性物质的百分比,准确计算极性物质的含量,再与正常的油对比。但是由于价格、检测时间、操作复杂度等许多因素导致实际应用并不广泛。

因此,研究一种高精度、快速的地沟油检测方法具有重要的意义。CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor,互补金属氧化物半导体)^[17]是在 PMOS(Positive Metal Oxide Semiconductor,P 型沟道金属氧化物半导体)和 NMOS(Negative Metal Oxide Semiconductor,N 型沟道金属氧化物半导体)工艺基础上发展起来的工艺技术。CMOS 集成电路具有功耗低、速度快、抗干扰能力强、集成度高等优点^[18-19],已成为当前大规模集成电路的主流工艺技术,绝大

部分集成电路都是基于 CMOS 工艺制造的。本试验充分利用 CMOS 工艺灵活度高、功耗低、特征尺寸小、工作电压范围宽等优点,结合地沟油与食用油电导率不同的特点,提出一种直接选择与短接到地相结合的方法实现电阻串线性分压,以单片机(MCU)为控制系统,提出了一种低成本、高精度检测计,能够快速检测出食用油中地沟油的掺入百分比。

1 系统设计

1.1 系统整体架构

如图 1 所示,为以单片机(MCU)为控制核心的系统结构框图,包括本文提出的盛油模块(Oiler)、CMOS 测量计芯片模块(Detector)、单片机以及显示屏,其中测量计模块由带隙基准、比较模块、时钟模块和振荡器四部分组成。振荡器用于产生初始时钟,时钟模块产生不同相位的时钟,带隙基准为比较模块产生稳定的参考电压,比较模块内部有一个比较器,在双相不交叠时钟的控制下将检测电压 V_{OUT} 经盛油模块内部的电阻分压后由高到低逐次比较,具有 offset 抵消功能;当比较结果一旦出现低电平,则将当前时钟模块的计数状态锁存,通过单片机处理后显示在显示屏上,数值越大则地沟油质量分数越大,反之越小。

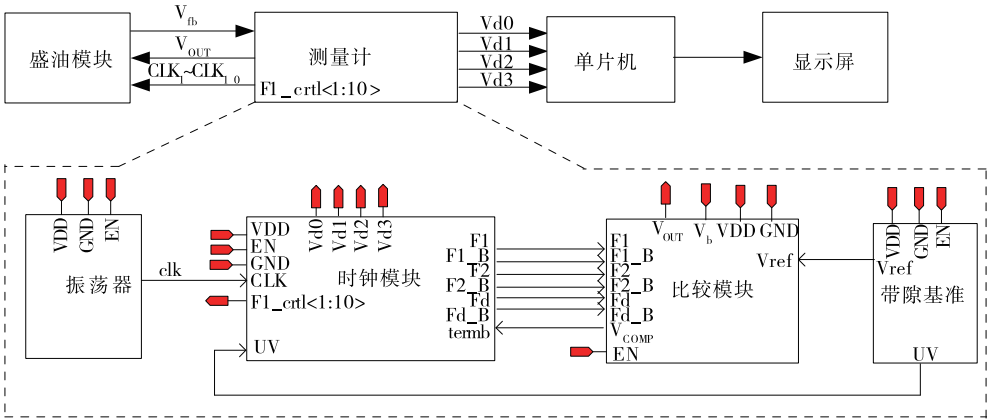


图 1 系统总体框图
Figure 1 The overall frame of system

时钟模块产生 10 个不同相位的时钟信号 $clk1 \sim clk10$ (0001~1010),从低位到高位逐次进行比较,比较结果为高电平则继续比较,反之则将 V_{COMP} 置高,锁存当前的计数状态,当前的状态即为最终的结果。10 位脉冲产生器的输入为计数器的 4 个输出信号,通过逻辑设计产生 10 个脉冲。此外,由时钟模块产生两个两相不交叠时钟 F_1 和 F_2 以及上升沿触发的信号作为采样时钟 Fd_d ;当 F_1 为高电平时将比较模块中的比较器被接为单位增益放大器, F_2 为高电平时比较器开始比较。当 $Termb$ 为低时,将 F_1 置高和 F_2 置低,此时计数器停止工作,并锁存当前计数状态。

比较模块中的比较器在双相不交叠时钟的控制下将盛油模块的电阻分压 V_{fb} 由高到低进行逐次进行比较,具有 offset 抵消功能。整个电路在 EN 控制下工作,并在最多 10 个时钟周期后进入锁存状态。 $Termb$ 信号刚开始时为高电平,当比较结果 V_{COMP} 出现低电平时,则 $Termb$ 变为低电平;

如果前面 9 个周期都比较出高电平,当 $clk10$ 来临时,将置低 $Termb$ 信号,从而将 F_0 置为高电平,从而进入锁存状态。锁存部分开始工作后,当输入时钟为高时,则保持输出为低,当输入时钟跳变到低电平时(第一个触发起采样到低电平),则将输出置高,此时进入锁存状态。

1.2 检测模块原理

如表 1 所示,菜籽油中掺入地沟油的电导率测定结果,可以看出菜籽油的电导率随掺入地沟油的质量分数呈正比关系。

由电导率公式可知:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S},$$

(1)

式中:

R ——电阻, Ω ;

ρ ——电导率, $\Omega \cdot m$;

表 1 菜籽油中地沟油质量分数与电导率测定结果

Table 1 Rapeseed cooking oil mass fraction and conductivity determination results

掺入百分 比/%	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	掺入百分 比/%	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	15.7	50	59.7
10	23.8	60	65.4
20	34.2	70	74.5
30	41.0	80	80.7
40	48.7	90	92.1

L ——长度,m;
 S ——横截面积, m^2 。

本文盛油箱的长度 L 取 0.1 m ,横切面积 S 取 0.1 cm^2 ,对应电阻用 R_{oil} 表示,如表 2 所示,列出了菜籽油中掺入不同百分比地沟油时对应的 R_{oil} 。

由表 2 可知,单位体积的电阻与地沟油质量分数呈线性反比,本文正是利用此特点来设计检测模块。图 2 为本文提出的检测计中的检测模块,其中 R 代表盛油箱对应的电阻,故由图 2 可知:

$$V_o = (1 + \frac{R_{\text{oil}}}{R_b})V_{\text{ref}}。$$

(2)

其中, R_b 取 $22\text{ k}\Omega$, V_{ref} 取 1 V 。结合表 2 和图 2 可得出菜籽油中地沟油质量分数与对应 V_o 统计表以及 V_o 变化曲线,见表 3。

图 2(a)和(b)分别为盛油模块和检测计中的比较模块结构图,其中图 2(a)的 V_{IN} 与图 2(b)的 V_o 相连,图 2(a)的 V_{fb}

表 2 菜籽油中地沟油质量分数与电阻统计表

Table 2 Rapeseed oil cooking oil mass fraction and resistance statistical tables

掺入百分 比/%	R_{oil} (平均 值)/ Ω	掺入百分 比/%	R_{oil} (平均 值)/ Ω
0	64	50	17
10	42	60	15
20	29	70	13
30	24	80	12
40	20	90	11

表 3 菜籽油中地沟油质量分数与 V_o 统计表

Table 3 In the rapeseed oil cooking oil mass fraction and V_o statistics

掺入百分 比/%	V_o/V	掺入百分 比/%	V_o/V
0	3.90	50	1.77
10	2.91	60	1.68
20	2.32	70	1.59
30	2.09	80	1.55
40	1.91	90	1.50

与 2(b)的 V_{fb} 相连,图 2(b)中的 V_{ref} 接带隙基准产生的基准电压。图 2(a)中的 $R_1\sim R_{10}$ 以及 R_L 和 R_S 是用来盛放待检测油的容器的不同等分,每个等分之间用绝缘片隔开,由上面的分析可知,不同等分容器具有不同的电阻。其中 R_F 和 R_S 为等效主电阻和限流电阻,其中 R_S 的大小取决于功耗。 $\text{clk1}\sim\text{clk10}$ 为图 1 中产生的 10 个控制信号,依次改变电阻分压的电压值 V_{fb} 。将每一个控制信号对应 V_{fb} 由与参考电压 V_{ref} 进行比较,直到出现低电平为止,同时通过计数器统计高电平数目,最终得到 4 位二进制数。因此,当菜籽油中地沟油的掺入比发生变化时,电阻势必会发生变化,导致 V_o 变化,从而使 V_{fb} 发生变化,得到不同的 4 位二进制数。

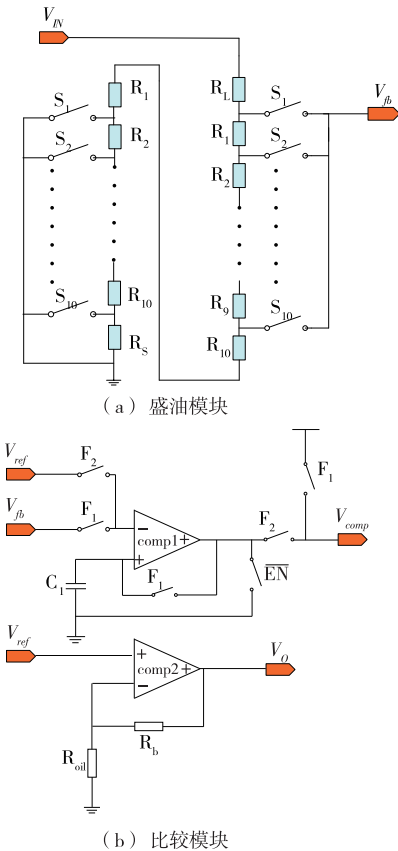


图 2 盛油模块和比较模块结构图

Figure 2 Oil module and compare module structure

当 F_1 为高时,比较模块相当于单位增益放大器,将运放的 offset 电压和电阻分压 V_{fb} 采样到电容 C_1 上, C_1 容值为 2 pF ,主要起补偿作用;当 F_2 为高时,将 V_{ref} 电压接到比较器正相端,将 V_{fb} 与 V_{ref} 进行比较;下一周期改变分压电阻的阻值,由高到低逐次比较。在开始的比较周期,由于 V_{fb} 高于 V_{ref} ,输出经过一个反相器后变为高电平,直到 V_{fb} 低于 V_{ref} ,输出变为低电平。

电阻分压 V_{fb} 与 V_o 的关系见式(3)。

$$V_{fbK} = \frac{V_o}{R + \sum_{i=1}^{10} R_i + \sum_{i=1}^K R_i} (\sum_{i=1}^{10} R_i + R_K), \quad (3)$$

其中 K 为 $\text{clk1}\sim\text{clk10}$ 控制信号分别对应的开关。

图 3 为 V_o 分别为 $3.9, 2.09, 1.59\text{ V}$ 所对应的开关 K 与

V_{fb} 关系图。由图 3 可知,当 $V_o=3.9\text{ V}$ 时,每个开关对应的电阻分压 V_{fb} 都大于参考电压 V_{ref} ,当 $V_o=2.09\text{ V}$ 时,前 7 个开关对应的电阻分压 V_{fb} 大于参考电压 V_{ref} ,当 $V_o=1.59\text{ V}$ 时,前 3 个开关对应的电阻分压 V_{fb} 都大于参考电压。因此,通过计数器计数可以分别得到 10,7,3 个高电平脉冲,从而得到不同的 4 位二进制数。

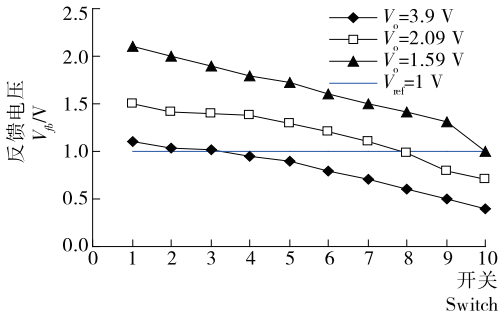


图 3 不同 V_o 对应的开关 K 与 V_{fb} 关系图

Figure 3 Different V_o corresponding switch K with V_{fb} diagram

将地沟油质量分数分为 10 个区间,分别用二进制代码表示,表 4 为地沟油掺入百分比对应的二进制代码值。

图 4 为控制系统连接图,其中核心控制器采用 STC89C51,其 P10~P14 口为 CMOS 检测计模块的 5 位二进制信号输入口,开关 S2 控制 CMOS 库仑计芯片的关闭与开启。显示屏为 TFT 液晶显示屏,其驱动电路为 S6D0144 芯片。

表 4 地沟油掺入百分比对应的二进制代码值

Table 4 Cooking oil mixed with percentage corresponding binary code values

掺入百分比/%	二进制代码值	掺入百分比/%	二进制代码值
>90	0001	40~50	0110
80~90	0010	30~40	0111
70~80	0011	20~30	1000
60~70	0100	10~20	1001
50~60	0101	0~10	1010

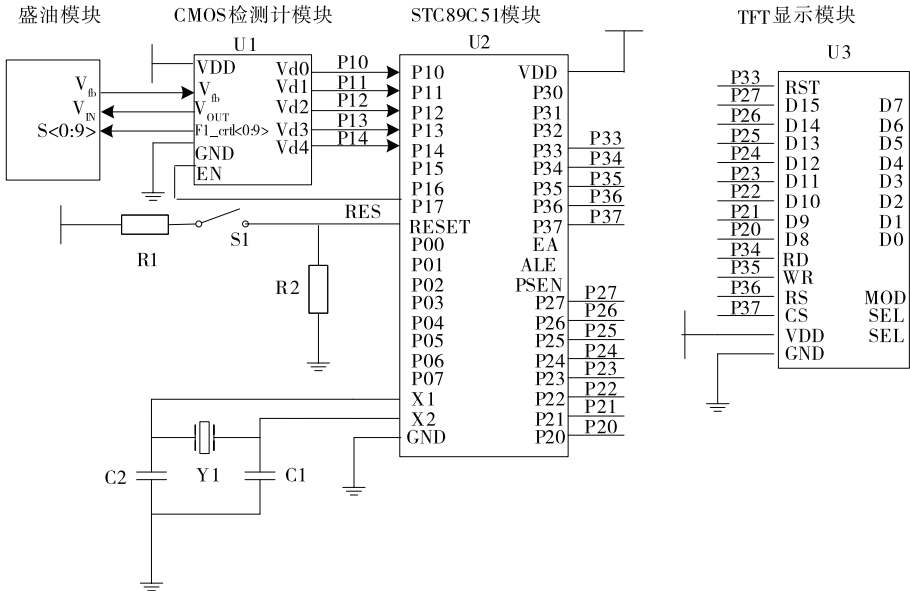


图 4 控制系统连接图

Figure 4 The connection diagram of control systems

2 软件设计

图 5 为系统设计时序图,其时序以地沟油质量分数为 50%~60%以及 0%~10%为例,结合图 2 可知,第 1 个波形为 EN 信号,即 EN 为高电平时开始转换,第 2 个波形 Termb 为终止信号,当 EN 从低电平跳变到高电平 Termb 也会跳变到高电平, Termb 为 0 指示进入锁存状态,等待数据被读取;可以看出当地沟油质量分数较高时(50%~60%)时转换出 0101,地沟油质量分数较低时(0%~10%)转换出 1010。第 3 个波形为采样信号 Fd,设为在其上升沿采样,一旦采样到 V_{comp} 为低电平,则将 Termb 置低。由于当 F_1 为高电平时进行比较,因此在 F_1 为高后延迟一段时间才采样比较的结果。第 4 个波形为 F_2 信号为高电平时将比较器接为单位增益放

大器,并输出比较结果, F_1 信号为高电平时进行比较,并将 V_{comp} 信号置高。计数器电路由 5 个 D 触发器级联而成,其中这 5 个 D 触发器都是下降沿触发。 $Vd1\sim Vd4$ 为 F_1 信号分频后的信号,以形成 10 个不同相位(0001~1010),由低位到高位逐次比较。如 1.1 所述,如果比较结果为高电平时则继续比较,当比较出现低电平时则将 F_1 置高,锁存当前状态,此时的计数结果即最终的结果。例如,当 10 次比较都输出高电平,说明此时的质量分数已经小于 10%,则锁存住第 10 个状态,即此时为 1010。

3 测试结果

图 6 为 CMOS 检测计的芯片缩影图,基于上华 0.5 μm 工艺,芯片面积为 1.4 mm^2 。

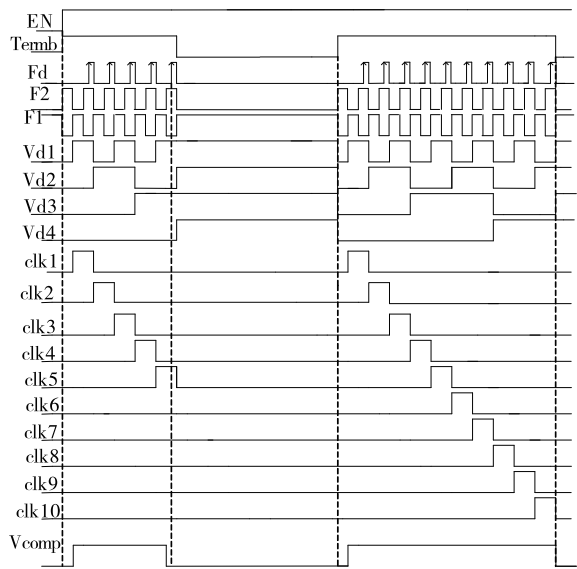


图 5 系统时序图

Figure 5 The system sequence diagram

本研究涉及的地沟油来自于地方食品药品监督管理局提供的菜籽油类型的地沟油,为了试验需要,采用的是没有精炼后的地沟油,标志物含量相对较多,这样才能导致电导率与正常食用油不一致。用如图2所示的盛油模块中的 $R_1 \sim$

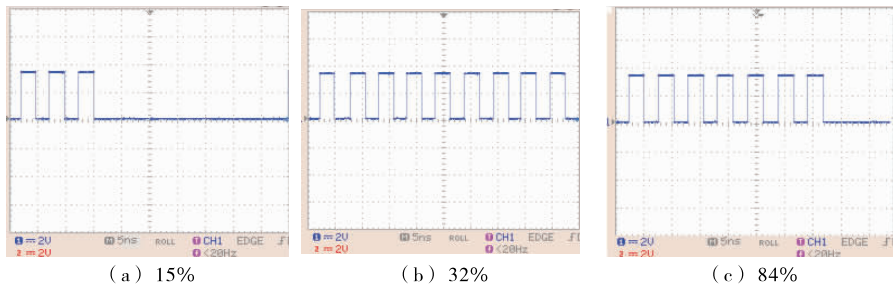


图 7 不同掺入比例地沟油的测试结果

Figure 7 The test results of cooking oil mixing ratio were 15%,32%,84%

4 结论

针对当前地沟油检测方面存在的不足,本研究设计了一种的高精度地沟油检测计,并结合 AT89C51 为 MCU,以 TFT-LCD 为终端显示,通仿真和测试结果显示,此检测计不仅能够实现快速、精确检测菜籽油中地沟油的掺入百分比,而且具有低功耗、低面积的特点,并获得了多项国家专利,已经准备开始应用于市场,具有广阔的应用前景和商业价值。

本研究基于单片机和相关电路检测地沟油,利用电阻分压在终端得到不通的电平数来鉴别地沟油。虽较市面上检测仪的精确差,但该方法简单,新颖,成本较低,可为今后地沟油以及其他物质的检测提供参考。

参考文献

[1] 曹文明, 孙禧华, 陈凤香, 等. “地沟油”鉴别技术研究展望[J]. 中国油脂, 2012, 37(5): 1-5.
[2] GOMES T, FRANCESCO C, DELCURATOLO D. Fate of oxi-

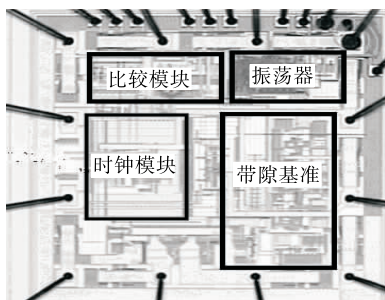


图 6 CMOS 检测计芯片缩影图

Figure 6 Chip die microphotograph of CMOS detector

R_{10} 以及 R_L 和 R_S 盛油容器来盛放待检测油,每个盛油容器具有不同等分,且用绝缘片隔开,使得电阻不一样。由 1.2 的检测原理分析可知,clk1~clk10 为图 1 中产生的 10 个控制信号,依次控制 $S_1 \sim S_{10}$ 产生不同的电阻分压值 V_{fb} 与参考电压 V_{ref} 进行比较,直到出现低电平为止,同时利用计数器统计高电平数目,最终得到 4 位二进制数。如图 7 所示,(a)、(b)、(c)分别为地沟油质量分数 15%,32%,84%时的 Fd 波形测试图,其 Fd 出现的高电平数分别为 10,7,2 个。由图 5 可知,Fd 出现的高电平数就代表采样的次数,从而可知产生的高电平数,所以地沟油质量分数分别为 15%,32%,84%时对应的二进制代码为 1001,0111,0010,与表 4 相符合。

dized triglycerides during refining of seed oils[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(16): 4 647-4 651.

[3] ZHANG R, ZHANG Z, ZHANG H, et al. Influence of lipid type on gastrointestinal fate of oil-in-water emulsions: In vitro digestion study[J]. Food Research International, 2015, 75(3): 71-78.
[4] 曹文明, 薛斌, 杨波涛, 等. 地沟油检测技术的发展与研究[J]. 粮食科技与经济, 2011, 36(1): 41-44.
[5] 陈兆圆, 李方实. 地沟油检测方法的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2014(8): 129-132.
[6] 卢海燕, 王欣, 赵婷婷, 等. “地沟油”常见检测方法 & 低场核磁共振法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013(5): 1 428-1 436.
[7] 杨冬燕, 李浩, 杨永存, 等. 基于电子鼻技术的地沟油鉴别研究[J]. 食品科技, 2014(6): 311-315.
[8] 李娟, 牛涛涛. 光谱技术在植物油脂掺伪和地沟油检测上的应用[J]. 分析仪器, 2012(3): 88-92.

(下转第 153 页)

靠,具有一定的应用价值。

3 结论

在单因素试验的基础上,采用 Box-Behnken 设计试验,以液料比、超声功率与提取时间为影响因子,零余子粗多糖得率为响应值,进行响应面法优化零余子粗多糖的超声波提取工艺,得出最佳提取工艺条件为:料液比 18:1(mL/g)、超声功率 760 W、提取时间 23 min。在此优化条件下,预测得率达到 61.94%。验证实验表明,预测值与实验值存在较好的一致性,此回归模型重复性较好,对于优化零余子多糖的超声波法提取工艺是合理的,在零余子综合利用方面具有一定的应用价值。

研究结果显示,超声波辅助水提取可以提高零余子粗多糖得率,具有较大应用前景。然而,该法得出的多糖为粗多糖,含有蛋白质、核酸及无机盐等杂质,零余子粗多糖的纯化、结构鉴定以及纯化后多糖的抗氧化、降血脂、抗疲劳等生物活性有待待深入研究。另外,多糖结构复杂,不同的提取方式可能在一定程度上影响活性功能,因此,研究提取方式对零余子多糖的生物活性影响亦具有重要意义。

参考文献

[1] 都恒青. 常用中药材品种整理和质量研究(北方篇): 第二册 [M]. 北京: 北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1995: 1 089.

[2] 盛玮, 薛建平, 谢笔钧. 怀山药零余子化学成分及其营养评价 [J]. 食品科技, 2009, 34(8): 76-79.

[3] 薛建平, 祝红蕾, 尧俊英. 铁棍山药及其零余子营养成分的比较研究[J]. 食品工业科技, 2008(8): 268-269.

[4] LIANG Xiao, HUANG Yue-qin, CHEN Jian-ping, et al. Antioxidant of polysaccharides in yam bulbils and their hypoglycemic effect in diabetic mice[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(7): 1 332-1 335.

[5] 李孟婕, 范秀萍, 吴红棉, 等. 翡翠贻贝粗多糖降血脂作用的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 257-261.

[6] 王娜, 冯艳凤, 范会平, 等. 大枣粗多糖体外抗凝血活性的差异化研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 34-39.

[7] 邱松山, 周天, 姜翠翠. 无花果粗多糖提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 40-42.

[8] 傅冬和, 张影, 曾婷玉, 等. 洋葱水溶性多糖的提取工艺研究

[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 125-127.

[9] 李宏睿, 陶浚, 董兵兵, 等. 超声波辅助提取香菇多糖工艺优化 [J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 138-140.

[10] 侯秀娟, 沈勇根, 徐明生, 等. 响应曲面法优化微波萃取化橘红多糖[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 101-109.

[11] 付宏媛, 张坤生, 任云霞. 酶解法提取甘薯多糖技术研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(2): 128-132.

[12] 盛桂华, 周泉城. 超临界 CO₂萃取瓜蒌多糖工艺研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(5): 208-210.

[13] 李倩, 田春芳, 刘雯霞, 等. 超声波复合酶法提取软紫草多糖的工艺优化[J]. 中国现代应用药学, 2012, 29(6): 498-503.

[14] YUAN Qing-xia, XIE Yu-feng, WANG Wei, et al. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity in vitro of polysaccharides from mulberry (Morus alba L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128(5): 52-62.

[15] 秦培鹏, 刘涛. 猴头菌多糖热水浸提工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(15): 4 784-4 786.

[16] 金迪, 梁英, 孙工兵, 等. 植物多糖提取技术的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(5): 76-79.

[17] 覃海元, 潘嫣丽, 覃梅珍. 热水与超声波提取鹿角灵芝多糖工艺比较研究[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 91-95.

[18] 崔玮, 张勇, 高海宁, 等. 响应面法优化果胶酶辅助提取锁阳原花青素的工艺[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 1-9.

[19] 余洋定, 启航, 李冬梅, 等. 果胶酶辅助提取裙带菜孢子叶多糖的工艺条件优化[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 175-177.

[20] CHEN Hua-guo, ZHOU Xin, ZHANG Jun-zeng. Optimization of enzyme assisted extraction of polysaccharides from Astragalus membranaceus[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111(13): 567-575.

[21] 贾丽艳, 任盛财. 复合酶法提取零余子多糖工艺的优化[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2013, 33(2): 130-135.

[22] 官波, 郑文诚. 山药多糖提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 98-101.

[23] BANIK R M, PANDEY K S. Selection of metal salts for alkaline phosphatase production using response surface methodology [J]. Food Research International, 2009, 42(4): 470-475.

[24] FAN Jie-ping, CAO Jing, ZHANG Xue-hong et al. Optimization of ionic liquid based ultrasonic assisted extraction of puerarin from Radix Puerariae Lobatae by response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 299-2 306.

(上接第 48 页)

[9] 李沂光, 单杨, 李高阳, 等. 地沟油检测方法研究现状与其应用分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 262-265.

[10] 许艳霞, 倪小英, 杨进. 地沟油检测指标及方法研究现状与展望[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 283-287.

[11] LU Rong-sheng, ZHOU Xin-long, WU Wei-ping, et al. Development of the miniature NMR apparatus for edible oil quality control[J]. Applied Magnetic Resonance, 2014, 45(5): 29-34.

[12] 胡雪瑶, 吴次南. 基于电导率的地沟油快速鉴别方法的改进 [J]. 应用物理, 2013, 3(8): 162-165.

[13] 王飞艳, 于修烛, 吕曼曼, 等. 基于电导率的地沟油快速定性定量分析[J]. 食品科学, 2011(18): 304-307.

[14] 朱锐, 王督, 杨小京, 等. 电导率测定在鉴别食用植物油掺伪应

用研究[J]. 粮食与油脂, 2008(11): 42-43.

[15] 刘志金, 郑雪玉, 潘红芝, 等. 滴水油与合格食用油鉴别方法的研究[J]. 武汉工业学院学报, 2006, 25(4): 9-11.

[16] 黄伟, 郑建军, 徐建华. 地沟油的安全快速检测研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 51-53.

[17] CHANDRAKASAN A P, SHENG S, BRODERSEN R W. Low-power CMOS digital design [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2010, 27(4): 473-484.

[18] STERN E, KLEMIC J F, ROUTENBERG D A, et al. Label-free immunodetection with CMOS-compatible semiconducting nanowires[J]. Nature, 2007, 445(7 127): 519-522.

[19] BAKER R J. CMOS: circuit design, layout, and simulation [M]. [S.l.]: IEEE Press, 1998: 1 231-1 232.