



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200810196010.1

[45] 授权公告日 2009 年 12 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 100575890C

[22] 申请日 2008.9.10

[21] 申请号 200810196010.1

[73] 专利权人 南京林业大学

地址 210037 江苏省南京市玄武区龙蟠路  
159 号

[72] 发明人 赵茂程 居荣华 齐亮 宋小宁

[56] 参考文献

CN2121020U 1992.11.4

CN2443351Y 2001.8.15

CN2927005Y 2007.7.25

JP60-18719A 1985.1.30

US2008/0068052A1 2008.3.20

CN2493915Y 2002.5.29

US2006/0223474A1 2006.10.5

基于高频导纳原理的液位传感器 王健婷. 遥测遥控, 第 27 卷第 6 期. 2006

微波雷达液位测量仪的研究 陈先中等. 工业仪表与自动化装置, 第 6 期. 2005

审查员 郝学江

[74] 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任公司

代理人 汤志武 朱戈胜

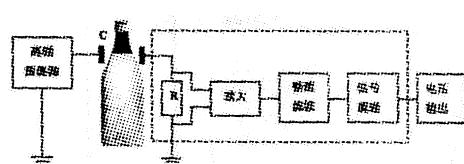
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称

电容式液位传感器及应用该传感器的液位检测装置

[57] 摘要

电容式液位传感器，包括检测电容、检测电路，检测电路对检测电容的容值采样；检测电路包括采样电阻、放大电路、整流滤波电路、信号调理电路；采样电阻与检测电容串联，放大电路采集采样电阻两端电压信号，放大后的信号经整流滤波电路后输出稳定的直流电压，该电压在信号调理电路中与给定的基准电压叠加，输出在一定范围内变化的电压值。该放大电路是该以吉尔波特双平衡混频单元为核心的混频电路，并设有本振电路。应用上述传感器的液位检测装置，包括电容式液位传感器、光电开关、单片机、剔除器和显示装置；电容式液位传感器输出的信号经 A/D 转换后输出到单片机，光电开关的输出连接到单片机的输入端，显示装置和剔除器分别连接单片机的输出端。



1、一种电容式液位传感器，包括检测电容、检测电路，检测电路对检测电容的容值变化采样；检测电路包括采样电阻、放大电路、整流滤波电路、信号调理电路；采样电阻与检测电容串联，放大电路采集采样电阻两端电压信号，放大后的信号经整流滤波电路后输出稳定的直流电压，该电压在信号调理电路中与给定的基准电压叠加，输出在一定范围内变化的电压值，其特征是所述放大电路是混频电路；该混频电路以吉尔波特双平衡混频单元为核心，并设有本振电路；混频单元把采样电阻两端电压信号和本振电路生成的本振信号混频；在混频的输出端连接中频滤波电路，中频滤波电路输出的中频信号再经放大后输出到整流滤波电路。

2、根据权利要求1所述的电容式液位传感器，其特征是检测电容的一个极板连接高频振荡源的输出端，另一个极板连接检测电路的输入端；

或检测电容的一极包括相连的两个极板，该两个极板连接高频振荡源的输出端，且与检测电路的输入端连接；另一极只有一个极板，该极板接地。

3、根据权利要求2所述的电容式液位传感器，其特征是所述高频振荡源输出频率不大于140MHz。

4、根据权利要求2所述的电容式液位传感器，其特征是所述高频振荡源采用调谐式晶体振荡电路，包括晶振、三极管、输出调谐电路，输出调谐电路由电容和电感构成；该调谐式晶体振荡电路等效为电容三点式振荡电路，晶振相当于等效电路中的电感，输出调谐电路相当于等效电路中的三极管基极和源极间的电容。

5、根据权利要求1或2所述的电容式液位传感器，其特征是所述混频电路的输出端还连接第二放大电路，该第二放大电路是共射极放大电路；该第二放大电路的输出端连接整流滤波电路。

6、根据权利要求5所述的电容式液位传感器，其特征是所述整流滤波电路包括射极跟随器，射极跟随器后依次连接二极管和低通滤波器；

所述信号调理电路包括电压源型低通滤波器、基准电压电路；电压源型低通滤波器滤除整流滤波电路输出信号的交流噪声，得到的信号和基准电压电路输出的电压叠加后，经电压跟随器输出；所述基准电压电路包括一个接在-15V～+5V之间的电位器和电压跟随器，电位器的中间脚连接电压跟随器，电压跟随器输出的即为所需电压。

7、根据权利要求2所述的电容式液位传感器，其特征是所述高频振荡源电路和检测电路都设在屏蔽罩中，屏蔽罩接地；检测电容的两极的极板设在屏蔽罩表面，与屏蔽罩绝缘且与屏蔽罩内电路连接。

8、一种应用权利要求 1 所述电容式液位传感器的液位检测装置，其特征是包括权利要求 1 所述电容式液位传感器、光电开关、单片机、剔除器、显示装置；电容式液位传感器输出的信号经 A/D 转换后输出到单片机，光电开关的输出连接到单片机的输入端，显示装置和剔除器分别连接单片机的输出端。

9、根据权利要求 8 所述的液位检测装置，其特征是还包括编码器，编码器的输出端连接单片机的输入端。

10、根据权利要求 8 或 9 所述的液位检测装置，其特征是 A/D 转换采用去极值平均滤波法：对于一次检测，先连续采样 18 次，每次间隔 1ms，采样完毕后去除其中的最大和最小值，把剩下的 16 个值的平均值作为 A/D 转换的结果。

## 电容式液位传感器及应用该传感器的液位检测装置

### 技术领域

本发明属于工业测量领域，具体是一种电容式液位传感器以及应用该传感器的液位检测装置。

### 背景技术

产品净含量是否达标是产品质量的一个重要指标，对于饮料产品，我国也专门立法对其净含量严格要求。在实际生产中，饮料灌装好后要用液位检测仪检测瓶子的液位。因为瓶子容量基本恒定，所以可以用这种方法间接地检测产品的净含量。现有技术中，饮料的液位检测方法主要有下列五种：

1、用射线检测液位：射线源放射出一束低能量射线，射线穿过瓶子中的液体，为对面的闪烁探测器所接受，当放射源一定时，射线随瓶子内液位高度的不同而产生不同程度的衰减。液位越低，射线越强。

2、用红外线检测液位：很多液体（如油、溶剂和酒精等）对红外线都有较强的吸收能力，所以可以利用液体对红外线的这种吸收能力来精确地检测液位。这种液位检测器需要两组红外光电检测器（对射式红外光电对管）来检测过高和过低液位的瓶子并把它们剔除出来。

3、基于机器视觉的检测液位：随着高性能芯片和摄像机的发明，机器视觉技术已经在工业生产中普遍应用，这使得用机器视觉技术高速检测液位成为可能。它通过图象中被检品，由图像处理软件判断液位的高低。

4、用红外热成像图检测液位：原理是，如果对灌装好的易拉罐短时间加热，由于罐头中的饮料吸收的热量远多于罐头壁吸收的热量，罐头壁的温度将有两个不同的区域：罐头壁的下部分由于盛放饮料，热量被饮料吸收，温度变化较小；罐头壁的上部分由于没有饮料，温度上升较多。这样，罐头壁下部分的温度低于上部分的温度，两部分温度的分界线就是液位。罐头壁的温差由罐头的材料和壁厚决定，通常在零点几度到几度之间。由于物体的温度与其所发出的红外辐射能量强度成比例，通过分析罐头的红外辐射能量强度的变化，就可以得到液位。

5、用声波检测液位：对于用皇冠盖封盖的饮料瓶，可以用声波检测液位。检测装置的主体是一块圆柱形的电磁铁，一定匝数的线圈缠绕在上面，圆柱体的主轴是空心的，有个微型麦克风嵌入其中。电磁铁与瓶盖有一个安全距离，大约为3~10mm。以啤酒瓶为例，当瓶子在运行中，瓶盖位于电磁铁的正下方时，线圈通以一个瞬时脉冲电流，脉冲电流将产生一个脉冲磁场，这个脉冲磁场把瓶盖的中心吸起又放下，这时瓶盖产生一个衰减的机械振动，同时瓶盖的振动激发瓶内气柱的振动，声波向下传播，到达液面后又反射回来，形成驻波。驻波的共振频率和液位密切相关，液位越低，气柱越长，频率就越低。因此可以通过分析驻波的频率来精确地测量液位。

### 各种液位检测方法的比较：

现在，饮料包装生产中广泛使用履带式输送带，实现了稳定无压力的输送。在

同一检测环境下，每种液位检测设备都有各自的优缺点：射线检测法可以穿透易拉罐检测液位，工作稳定性高，但是辐射对人体的影响不容忽视；红外检测法设计简单、造价低廉，但是泡沫会影响检测精度；光学检测法虽然精度和速度都能达到要求，但是造价高，开发周期长，受限条件多；用红外热成像图检测液位虽然不受饮料包装形式的限制，但和光学检测方法一样需要有较高图像处理的能力，增加了开发成本；用声波检测方法新颖，但受环境干扰因素多，且只能检测皇冠盖封装的饮料。

## 发明内容

为了解决现有技术中存在的上述问题，本发明提出一种新型电容式液位传感器及应用该传感器的液位检测装置，实时、高精度的检测饮料包装中的液位，具体技术方案如下：

一种电容式液位传感器，包括检测电容、检测电路，电容的一个极板连接高频振荡源的输出端，另一个极板连接检测电路的输入端，检测电路对检测电容的容值变化采样；检测电路包括采样电阻、放大电路、整流滤波电路、信号调理电路；采样电阻与检测电容串联，放大电路采集采样电阻两端电压信号，放大后的信号经整流滤波电路后输出稳定的直流电压，该电压在信号调理电路中与给定的基准电压叠加，输出在一定范围内变化的电压值。所述放大电路是混频电路；该混频电路以吉尔波特双平衡混频单元为核心，并设有本振电路；混频单元把采样电阻两端电压信号和本振电路生成的本振信号混频；在混频单元的输出端连接中频滤波电路，中频滤波电路输出的中频信号再经放大后输出到整流滤波电路。使用吉尔伯特双平衡混频单元可以对检测电路中的高频信号降频并放大。所述输出电压值的范围是指在具体应用时，对该电压值进行 A/D 转换的转换范围。这样，传感器输出的电压不会液位过高或过低损坏 A/D 转换采样芯片。

混频器是传感器检测电路的核心，对采样电阻上微弱的高频电压信号可以放大并降频，提高了传感器的检测精度和稳定性。

改进 1，检测电容的一个极板连接高频振荡源的输出端，另一个极板连接检测电路的输入端；

改进 2，或检测电容的一极包括相连的两个极板，该两个极板连接高频振荡源的输出端，且与检测电路的输入端连接；另一极只有一个极板，该极板接地。具体使用时，相连的两个极板设在被测液面的两侧。

所述高频振荡源输出频率不大于 140MHz。

所述高频振荡源采用调谐式晶体振荡电路，包括晶振、三极管、输出调谐电路，输出调谐电路由电容和电感构成；该调谐式晶体振荡电路等效为电容三点式振荡电路，晶振相当于等效电路中的电感，输出调谐电路相当于等效电路中的三极管基极和源极间的电容。

所述混频电路的输出端还连接放大电路，该放大电路是共射极放大电路；它的输出端连接整流滤波电路。

所述整流滤波电路包括射极跟随器，射极跟随器后依次连接二极管和低通滤波

器。

所述信号调理电路包括电压源型低通滤波器、基准电压电路；电压源型低通滤波器滤除整流滤波电路输出信号的交流噪声，得到的信号和基准电压电路输出的电压叠加后，经电压跟随器输出。

所述基准电压电路包括-15V～+5V 电位器和电压跟随器，电位器的中间脚连接电压跟随器，电压跟随器输出的即为所需电压。

所述高频振荡源电路和检测电路设在屏蔽罩中，屏蔽罩接地；检测电容的两极的极板设在屏蔽罩表面，与屏蔽罩绝缘且与屏蔽罩内电路连接。

对于改进 1 的技术方案，所述高频振荡源电路和检测电路分别设在两个屏蔽罩中；检测电容的两极的极板分别设在两个屏蔽罩表面。对于改进 2 的技术方案，所述高频振荡源电路和检测电路都设在一个屏蔽罩中；检测电容接地的一极的极板不在屏蔽罩中，电容的另一极的极板在上述屏蔽罩中。

一种应用上述传感器的液位检测装置，包括上述电容式液位传感器、光电开关、单片机、剔除器、显示装置；电容式液位传感器输出的信号经 A/D 转换后输出到单片机，光电开关的输出连接到单片机的输入端，显示装置和剔除器分别连接单片机的输出端。

A/D 转换采用去极值平均滤波法：先对于一次检测，连续采样 18 次，每次间隔 1ms，采样完毕后去除其中的最大和最小值，把剩下的 16 个值的平均值作为 A/D 转换的结果。

所述每次间隔 1ms，连续采样次数可以选择 4, 6, 10, 18 等。之所以选择 18，是因为，采样频率越大，样本更全面，所得的平均值更接近于真实值。但如果采样频率过高，势必增加单片机的工作负担，而且采样精度会下降。如果每隔 1ms 采样 1 次，一个瓶子连续采样 18 次，那么单片机获取该瓶子的液位值共用时约 20ms，而一般国内的饮料包装生产线最高速度约为 1m/s，那么在 20ms 内该瓶子最多移动 20mm，而上述改进 1 中的传感器的电容极板宽度就有 23mm，所以在单片机采集液位信息时，瓶颈基本位于传感器的检测范围内，这样的传感器输出数据采集是可信的。当然选择 10 也是可以的，如果还是每隔 1ms 采样 1 次，那么单片机获取该瓶子的液位值共用时约 10ms，那么生产线的运行速度可以更高，而不会使被测瓶子位于传感器检测范围外。

所述装置还包括编码器，编码器的输出端连接单片机的输入端。所述光电开关有 1 个，对剔除器的位置没有特别要求。该方案的检测方法是，检测时瓶子首先通过光电开关，光电开关发出的信号被单片机寄存，用于标记这个检测瓶。同时，光电开关发出的信号也启动了单片机中的计数器，计数器开始计算编码器产生的脉冲信号，当瓶子到达液位检测传感器时，计数器发出到达信号，这时，传感器得到数据就被采集到单片机中。经过比较运算后，如果这个瓶子不合格，则当瓶子到达剔除器时，单片机发出信号给剔除器，准确剔除该瓶。

如果所述液位检测装置不包括编码器，则所述光电开关有 2 个，沿被检瓶子的运动方向依次排列，2 个光电开关间距小于被检瓶子间距的 2 倍；所述剔除器设在第

二个光电开关旁。该方案的检测方法是，当输送带上的瓶子运行到检测电极范围内时，第一个光电开关的光线被遮挡，输出脉冲，执行 A/D 转换；根据 A/D 转换得到的值判断该瓶液位是否合格；如果液位不合格，瓶子运行到剔除器位置，第二个光电开关被触发，单片机启动剔除器，把液位不合格的瓶子剔除掉。

两种检测装置方案可以与两种传感器方案任意搭配。

由于采用了本发明的电容式液位传感器，本检测装置不仅可以用于检测饮料包装的液位，还可以检测空瓶中的残液，以及洗发水等其它液体产品的定量包装生产线上。

本发明克服了现有技术中存在的问题，提出了一种测量精度高、速度快、造价低、维护容易的液位检测设备，而且这个设备对被测对象没有过多要求，对人体没有伤害。

#### 附图说明

图 1 是实施例 1 电容式液位传感器原理框图

图 2 是电容式液位传感器输出和液位关系示意图

图 3 是输出变化量与信号源频率的关系曲线图

图 4 是高频振荡源电路原理图

图 5 是图 4 电路的交流等效电路图

图 6 是图 4 电路电容三点式振荡电路的交流等效电路图

图 7 是检测电路原理图

图 8 是带通滤波电路示意图

图 9 是增益调节电路示意图

图 10 是本振电路示意图

图 11 是共射放大电路示意图

图 12 是射极跟随器电路示意图

图 13 是基准电压电路示意图

图 14 是电路屏蔽示意图

图 15 是传感器输出与液位关系图

图 16 是实施例 1 液位检测装置电路示意图

图 17 是实施例 1 液位检测装置工作过程示意图

图 18 是实施例 2 电容式液位传感器原理框图

图 19 是实施例 2 液位检测装置电路示意图

图 20 是实施例 2 液位检测装置工作过程示意图

图 21 是实施例 2 液位 F 与输出电压 U 的关系曲线图

#### 具体实施方式

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步说明。

例 1

## 原理说明

以啤酒瓶为例，说明传感器工作原理。两块电极放置在瓶颈两侧，电极的高度以液位在电极的检测范围内为宜。设置极板间距和极板的大小相当，使电容的边缘效应不可忽略，平板电容器的电容公式  $C = \frac{\epsilon S}{d}$  不能适用，但是，可以定性分析传感器

的原理：在两电极之间有三种介质，分别是水（啤酒），玻璃和空气。已知，水为极性电介质，其介电常数为 81，玻璃和空气属非极性电介质，介电常数分别为 2.2 和 1。由于水的介电常数远大于空气和玻璃的介电常数，所以瓶中液位的变化将改变检测电极的电容。当液位增加时，电容增大，液位降低时，电容减小。

## 传感器结构（如图 1、2）：

把传感器电容 C 和固定电阻 R 串联起来，接在高频信号源上。高频振荡源产生稳定的正弦波，信号回路的阻抗为  $R + \frac{1}{j\omega C}$ ，当电容增大时，电路阻抗降低，流过 R 上的电流 I 增大，R 上的电压 U 增大。把 R 上的电压 U 放大、整流、滤波后就可以得到稳定的直流电压输出，该电压随传感器电容 C 的增大而增大。通过和给定的电压值进行比较，就可以判断液位是否合格。

## 振荡源频率的确定（如图 3）

在高频振荡源的作用下，电容器的两极板间存在交变电场。介质在交变电场作用下，位移极化和偶极极化发生会改变介质的介电常数。物质的介电常数可以表示为  $\epsilon = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + (\omega t)^2}$ ， $\epsilon_{\infty}$ ：仅有偶极极化时的介电常数； $\epsilon_s$ ：仅有位移极化时的介电常数； $\omega$ ：外加交变电场的频率； $t$ ：偶极极化的时间常数。

非极性或弱极性介质（如空气、玻璃）的极化主要是位移极化，偶极极化十分微弱，而且偶极极化的时间常数也很小，所以交变电场对介电常数的影响可以忽略不计， $\epsilon \approx \epsilon_s$ 。而极性电介质（如水）除有位移极化外，还有显著的偶极极化。随着交变电场频率的升高，偶极极化对介电常数的影响将越来越明显，总的介电常数将变小，这将会降低电容传感器的敏感度，所以振荡源的频率不能过高。但是电容传感器的电容量很小，只有几个 pF，为了降低检测回路的阻抗，提高检测精度，频率不能过低。试验结果表明，在 140M 以内的频率范围内，电容传感器的输出变化较明显。

## 振荡源电路设计（如图 4、5、6）

晶体振荡电路具有很高的频率稳定度，输出振幅稳定，受温度变化影响小，容易起振，满足了高频振荡源的设计要求。振荡源的电路如图 4 所示。这是一个调谐式晶体管晶体振荡电路( $f_0=20.480\text{MHz}$ )。晶体振子呈感性，可以看做一个电感线圈。L<sub>0</sub>、C<sub>0</sub> 构成输出调谐电路，除了形成振荡电路必要的电抗（电容性），还能够滤除高次谐波，得到更接近正弦的波形。电路设计时，求出在振荡频率 f<sub>0</sub> 处能谐振的 L<sub>0</sub> 与 C<sub>0</sub> 的值，L<sub>0</sub> 或 C<sub>0</sub> 的值稍微偏移一点调谐回路就呈电容性。因为在此电路中，晶振可以等效为一个电感（如图 5），而输出调谐电路等效为一个电容，所以这实际是一个标准的电

容三点式振荡电路（如图 6），晶振相当于电路中的 L，输出调谐电路相当于电路中的 C<sub>1</sub>，三极管的基极和射极间的电容相当于电路中的 C<sub>2</sub>。

### 晶体管电路工作点的确定

图 4 的电路结构是一种电流反馈偏置电路。电路中的电源电压为 12V，集电极工作电流 I<sub>C</sub> 约为 10mA，可简单地求出电路常数。在 20MHz 左右的频率下，有 10mA 左右的电流比较妥当。

若考虑偏置电路的直流稳定性，则发射极电阻 R<sub>4</sub> 要使用高阻值电阻，但从有效利用电源电压看，最好不要用高阻值电阻。通常，R<sub>4</sub> 分得的电压降相当于电源电压 V<sub>CC</sub> 的 5%~10%。

因此，发射极电压 V<sub>E</sub> 为 0.6~1.2V，这里选用 V<sub>E</sub>=1V。因此求出发射极电阻 R<sub>4</sub> 为：  $R_4 = V_E / I_C = 100(\Omega)$

基极偏置电压 V<sub>B</sub> 由电阻分压设定，为此，电阻 R<sub>1</sub> 和 R<sub>3</sub> 的阻值有一定的自由度。电阻 R<sub>1</sub> 的阻值越低，直流稳定性越好，但一般为发射极电阻 R<sub>4</sub> 的 10 倍左右。

首先求出 V<sub>B</sub> 为：  $V_B = I_C R_4 + V_{BE} = 1 + 0.6 = 1.6(V)$

式中，V<sub>BE</sub> 为晶体管的基极-发射极间电压，硅晶体管约为 0.6V。

晶体管的基极电流为  $I_B = I_C / h_{FE}$

经测量晶体管 9013 的直流放大系数 h<sub>FE</sub> 为 150 左右，则 I<sub>B</sub> 为：  
 $I_B = 10 \times 10^{-3} / 150 = 0.07(mA)$

根据  $V_B = 1.6V$ ，则电阻 R<sub>1</sub> 中电流 I<sub>R1</sub> 为 1.6mA，因此，电阻 R<sub>3</sub> 中总电流为 (0.07+1.6)mA，于是可是求出 R<sub>3</sub> 为：

$$R_3 = (V_{CC} - V_B) / (I_B + I_{R1}) = (12 - 1.6) / (0.07 + 1.6) \times 10^{-3} \approx 6.24(k\Omega)$$

实际选用固定电阻为 6.2kΩ。

### 输出调谐电路的设计

输出调谐电路的目的是形成振荡电路必要的电抗（电感性或电容性），第二个目的是滤除高次谐波，这样可以得到更接近正弦的波形。

对于 LC 谐振的典型科耳皮兹式振荡电路，若输出调谐电路的阻抗不是电容性，则不能产生振荡。电路设计时，求出在振荡频率 f<sub>0</sub> 处能谐振的 L 与 C 的值，L 或 C 值稍微偏移一点就成为电容性。

晶体管集电极负载电阻 R<sub>L</sub> 由输出取多高电平决定，若输出功率 P<sub>O</sub> 为 100mW(+20dBm)，则 R<sub>L</sub> 为：  $R_L \leq (V_{CC} - V_E)^2 / 2P_O = (12 - 1.6)^2 / 200 \times 10^{-3} = 540.8(\Omega)$ ，然而，实际上考虑到损耗，包括线圈等耦合电路的损耗，设计时负载电阻 R<sub>L</sub> 的阻值假定比计算值低一些，这里 R<sub>L</sub> = 500Ω。

若负载为高阻抗（数千欧以上），输出调谐电路不需要次级线圈，但为了降低阻

抗，需要增设匝数比为  $n:1$  的次级线圈。这时的计算方法与低频变压器相同，即计算阻抗比的平方根。

求出初级  $L$ ，用  $n$  除初级线圈的匝数（由线圈构造与磁芯特性决定）就可以得到次级匝数。

这里，假定负载接的电阻  $R_2$  为  $50\Omega$ ，线圈匝比  $n$  为： $n = \sqrt{R_L / R_2} = 3.16$ （匝比  $3.16:1$ ）

谐振电路  $L$  及  $C$  的计算顺序如下：

有负载时电路的  $Q$  称为  $Q_L$ ，它为  $5\sim10$ 。于是电容  $C$  的电抗  $X_C$  为：

$$X_C = R_L / Q_L = 500 / 10 = 50(\Omega)$$

因此，谐振频率  $f_0 = 20.480MHz$  时，电容  $C$  值为：

$C = 1 / 2\pi f_0 X_C = 1 / 6.28 \times 20.48 \times 10^6 \times 50 = 155(pF)$ ，实际上从 E12 系列中选  $150pF$  电容。

已知： $X_L = [Q_L^2 / (1 + Q_L^2)] X_C \approx X_C$ ，求出电感  $L$  为：

$$L = X_C / 2\pi f_0 = 50 / 6.28 \times 20.48 \times 10^6 = 0.389(\mu H)$$

使用可调电感（中周）以使电路在某一  $L$  值下产生谐振。这里，使用  $0.39\mu H$  的中周，其初级线圈为 8 匝，根据： $8 \text{ 匝} / 3.16 \approx 2.5$ ，则次级线圈为 2~3 匝即可，实例为 3 匝。

### 检测电路设计（如图 7）：

检测电容  $C$  电容量很小，只有几个  $pF$ ，阻抗极高，导致与其串联的电阻  $R$  上流过的电流极小，电压微弱。用频谱仪测得电压只有几百  $\mu V$ ，如果直接放大较为困难；而且电子元器件在高频信号下，寄生电容和电感将会变得明显，严重影响了传感器的检测精度。所以用混频器作为放大电路，它不仅增益高，还能够对高频信号降频，这方便了整流滤波电路元器件的选取，克服了寄生电容和电感的影响，提高了传感器的精度。

#### 混频器原理

吉尔伯特双平衡混频的电路机构形式为双平衡模拟乘法器电路，该混频器输出电流大小与输入的射频信号电压  $v_{RF}$  的大小有关，与本振信号电压  $v_{LO}$  的幅度无关，混频器能对  $v_{RF}$  线性放大。基于该特点可以设计检测电路，本电路使用集成芯片 TCA440 作为混频器，电路中除了混频部分还有信号放大部分，整流滤波部分和信号调理部分组成。

#### 混频电路设计

混频电路的主体部分是 TCA440 混频器。此芯片不仅包含吉尔伯特双平衡混频电路还包含 4 级中频放大电路，增益量外部可调，最大能达到 60dB。参考图 7，TCA440 外围电路包括传感器输入电路，本振电路，带通滤波电路和增益调节电路。

混频器的 1,2 脚为射频信号输入端，和传感器的输入电路相连。传感器输入电路由  $R_2C_5$  组成： $R_2$  相当于图 1 中的  $R$ ，阻值为  $50\Omega$ ；电容  $C_5$  的作用是防止混频器预放大级的输入端直接接地，保证放大级有正确的静态工作电压。

混频器的 4,5,6 脚接本振电路，混频器的本振频率为  $20.945\text{MHz}$ ，选用晶振作为振荡源，已知射频信号的频率为  $20.480\text{ MHz}$ ，所以混频后的频率稳定在  $465\text{KHz}$ 。因为 TCA440 是设计用于调幅收音机中的，所以电路范例中的本振电路是频率可调的高频 LC 振荡电路，需要另行设计适用于晶振的本振电路。

TCA440 自带本振所需要的放大器，此放大器为差分放大器。和单管放大器相比，它能够避免晶体管工作于饱和区，提高选频回路的  $Q$  值，增强选频回路的选频滤波功能，从而增强频率的稳定性，减少失真。由差分放大器组成的晶振电路如图 10 所示。和高频振荡源(图 4) 电路中的  $L_0C_0$  一样，连接在差分放大器集电极上的  $L_2C_{10}$  构成输出调谐电路，混频器的 4,5 脚不仅是差分放大器的输入端也是混频器内部吉尔伯特混频单元的本振输入端，所以，经差分放大的本振信号被直接引入混频单元进行混频。

由于吉尔伯特混频单元的输出信号包含两种频率的信号，频率分别为  $f_{LO} - f_{RF}$  和  $f_{LO} + f_{RF}$ ，需要处理的是  $f_{LO} - f_{RF}$  这一低频信号，而  $f_{LO} + f_{RF}$  高频信号不利于处理，需要滤除。这里用中频变压器（中周）从混频单元的输出端（脚 15）初步选择出  $465\text{KHz}$  的中频信号，并耦合输出到标定值为  $465\text{KHz}$  的三端带通滤波器，经过两个三端带通滤波器 ( $Y_1, Y_2$ ) 滤波后，可以得到比较纯正的  $465\text{KHz}$  中频信号，并通过脚 12 输入到混频器的中频放大电路中去（图 8）。这里，把中周和三端带通滤波器结合使用，极大的提高了混频单元的灵敏度、稳定性和频率可调性。 $f_{LO}$  是被测电压信号的频率， $f_{RF}$  是本振频率。

为使输出信号变化不悬殊，TCA440 芯片中包含自动增益控制 (AGC) 电路。混频器中的 9 号脚是自动增益控制的输入端，控制中频放大器的增益，它和混频器的输出端（脚 7）相连。这样，当输出信号较大时，自动减小中频放大的增益，降低输出信号；当输出信号较弱时，自动增大中频放大的增益，提高输出信号的能量，使混频器的输出信号在一定范围内保持稳定。但是，本传感器需要混频器的输出信号随着射频输入信号的能量变化，所以脚 9 不和脚 7 相连，而是和稳定的直流电源相连，通过电位器调节脚 9 的电压，从而调节中频放大器的增益量。设计时需注意，脚 9 的电压不要超过  $600\text{mV}$ ，所以在电位器和电源间接上限压电阻。增益调节部分电路如图 9 所示。

### 放大电路设计

实际运行中发现，虽然 TCA440 芯片有较高的信号增益，但是由于混频器的输

入端（脚 1,2）信号微弱，又由于空间电磁波以及电路中的热噪声的干扰，芯片的输出信号仍比较微弱且存在杂波，如果直接整流，即使使用用于小信号检波的锗二极管，也无法达到锗管的最小正向电压(0.1V)。所以混频后的信号还需放大。

首先在混频器的输出端接上 LC 串联谐振滤波电路。在图 7 中该电路由  $L_1C_1$  组成。已知，发生谐振的角频率  $\omega_0$  和频率  $f_0$  分别为：

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

调节  $L_1$  的值，使 LC 串联电路的谐振频率为 465KHz。谐振时，电路阻抗为最小值：

$$Z(j\omega_0) = j \left( \omega_0 L_1 - \frac{1}{\omega_0 C_1} \right) = 0$$

这样，谐振电路对 465KHz 的中频信号没有影响，而对其它频率的信号呈现一定的阻抗，从而起到滤波的作用。同时， $C_1$  也起到隔直通交的作用。实际设计中， $L_1$  选用低频中周，有±6%的可调量。

在滤波电路后接上一级共射极放大电路（图 11）。电路的放大倍数由  $R_5$  与  $R_{10}$  之比来决定，如果希望电路有较大的放大倍数，不能一味地提高  $R_5$  的值或减小  $R_{10}$  的值，因为，这样会导致直流偏置状态的改变，使输出波形产生畸变。为了不破坏放大器直流偏置状态而又能提高交流增益，把发射极电阻  $R_{10}$  和电容  $C_{16}$  并联，使发射极与信号地间的交流电阻几乎为 0。交流放大倍数  $A_V$  的计算值应该为  $\infty$ ，但是实际上，放大倍数为 36dB。这是因为，当  $R_E=0\Omega$  时， $A_V \approx h_{FE}$ 。 $h_{FE}$  是表示晶体管静态电流放大系数，是晶体管的固有属性，是一个常数。

晶体管的交流放大倍数经测量，输出的交流信号波形纯正，电压有效值满足要求。 $C_7$  是电源的旁路电容，用来降低电源对信号地的交流阻抗。如果没有这个电容，电路的交流特性会改变，严重时电路产生振荡。

### 整流滤波设计

在图 7 中，信号的整流滤波电路由射极跟随器、锗二极管  $D_1$  和低通滤波器( $R_1, C_3$ )组成。

射极跟随器输出阻抗低，带负载能力强，能够克服负载变动对共射极放大电路的影响。射极跟随器的电路设计如图 12 所示。

射极跟随器为整流二极管  $D_1$  提供了足够的偏置电压，这里使用锗管是因为它的门坎电压约为 0.1V，比硅管的门坎电压 0.5V 要小得多，具有更高的整流效率。

通过低通滤波器( $R_1, C_3$ )把整流后的交流信号变为直流信号，这里，低通滤波器的取值原则是： $R_1 C_3 \gg \frac{1}{\omega}$ ，即低通滤波器的时间常数远大于中频信号的周期，使得电容  $C_3$  对中频  $\omega$  近似短路，滤除中频分量，得到中频信号有效值。例如，可令  $R_1 C_3=20\mu\text{s}$ ，取  $C_3=0.01\mu\text{F}$ ，则  $R_1=2\text{k}\Omega$ 。

### 信号调理电路设计

为了方便后期数据处理，还需对输出信号进行调理。在图 7 中，用  $R_4$ 、 $R_5$ 、 $C_4$ 、 $C_6$  以及运放  $U_1$  组成电压源型低通滤波器，滤除直流信号中的交流噪声，它属于二阶有源滤波电路。和一阶有源滤波电路相比，它对直流输出信号中的高频杂波有更好的抑制作用，而且输出阻抗高，输入阻抗低，带负载能力强。

在本例中，设截止频率为  $f_0$ ，参考巴特沃斯滤波器的设计： $R_4 = R_5 = R$ 、

$$C_4 = \frac{1}{\sqrt{2\pi f_0 R}} \quad C_6 = \frac{C_4}{2}$$

由于传感器的输出要和控制系统的采样芯片相连，而采样芯片对输入信号的电压有要求，所以把输出信号和可调的基准电压相叠加。基准电压由一个接在-15V~+5V之间的电位器提供，电位器的中间脚和电压跟随器相连（图 13）。通过调节基准电压的大小，最终得到适合的直流输出电压，该输出电压随传感器的电容量增大而增高。

### 电磁兼容设计

所述高频振荡源电路和检测电路分别设在两个屏蔽罩中，屏蔽罩接地；检测电容的两极板设在屏蔽罩表面，与屏蔽罩绝缘，与屏蔽罩内电路连接，如图 14 所示。

### 传感器测量液位的敏感区域

为了减少电磁波的辐射，适当减小与高频信号源相连的电容极板的大小，同时为了提高混频器的信号输入电压，适当增加与混频器相连的电容极板的大小，两块极板的大小分别为(2.2\*0.8)cm，(5\*2.3)cm。因为该传感器只需检测液位是否合格，而不需要在较大范围内测量液位的具体高度，所以上述极板的大小能够满足液位检测的要求。

通过测定传感器的敏感区域，可以使被测液位在该区域内的输出变化量最大，从而提高传感器的检测精度。以 620ml 的啤酒瓶为例，传感器的两块电容极板分别架设于瓶颈两侧，两极板的下边沿处于同一水平面，极板与瓶颈间有 5mm 的间隙。以极板的下边沿为液位高度的坐标原点，可以得到在不同液位下，传感器输出与液位关系图，如图 15 所示。从图中可以看出，曲线在  $-6 \leq h \leq 8$ (mm) 的范围内有较大的斜率，而斜率越大灵敏度就越高。所以，试验结果表明，当液位在极板下边沿 ( $h=0$ mm) 附近变化时，传感器有较高的灵敏度。

## 液位检测装置

### 安装

本检测装置是安装在灌注机的下游生产线上，快速、不接触地测量饮料包装中的液位。

### 液位检测装置的硬件设计

### 组成

液位检测装置的系统构成如图 16、17 所示，包括电容式液位传感器、2 个光电开关、单片机、剔除器、4 位 LED 显示器；电容式液位传感器输出的信号经 A/D 转

换后输出到单片机，2个光电开关的输出连接到单片机的输入端，显示装置和剔除器分别连接单片机的输出端。所述2个光电开关沿被检瓶子的运动方向排列，2个光电开关间距小于被检瓶子间距的2倍；所述剔除器设在第二个光电开关旁。除电容式液位传感器外，其它器件均可使用现有技术中公知的产品。

本装置根据选用美国 Cygnal 公司 C8051 系列单片机。单片机的外围电路把单片机和装置的其它部件联系起来，它包括：电源电路、JTAG 接口电路、信号采集电路、光电开关输入电路、剔除器控制电路和 LED 显示电路。这些电路是在现有技术中比较常见，在此不作进一步说明。

控制器 C8051F021 片内集成了 A/D 转换模块，转换精度高(12 位)、转换速度快(100ksps)，能够满足快速液位检测的要求。为了实现系统的自动测量，使用光电开关作为 A/D 转换的触发信号，当输送带上的瓶子运行到检测电极的范围内时，光电开关输出一个负脉冲，启动中断程序，执行 A/D 转换，如果 A/D 转换的值大于给定值，表明该瓶液位合格；如果转换结果小于给定值，表明该液位不合格，单片机启动剔除器，把液位不合格的瓶子剔除掉。

### 数据处理流程

在传感器的检测电路中，虽然已采取多级滤波的措施来降低输出信号中的噪声，但仍有少量不规则的交流杂波。现有技术中常用一个几 uF 的电解电容滤波，但是电解电容的充放电时间较长，不适用于快速测量。为了消除传感器通道中的干扰信号，保证检测精度和速度，在单片机 A/D 转换中引用去极值平均滤波法。具体做法是，当瓶子处于传感器检测范围内时，单片机连续采样 18 次，每次间隔 1ms，采样完毕后去除其中的最大和最小值，把剩下的 16 个值的平均值作为 A/D 转换的结果。此法可以消除由于脉冲干扰而引起的误差。

### 软件系统总体设计

本系统控制芯片的软件设计，是建立在硬件设计的基础之上的，应实现电容传感器数据的实时自动采集和检测结果的快速判断。

单片机系统中的程序主要包括系统初始化程序、循环显示程序和中断服务程序。由于上述软件程序在现有技术中比较常见，在此不对此作进一步说明。

### 例 2

本例中，

- 1、对于电容式液位传感器，检测电容部分与例 1 有所不同，其它电路相同；
- 2、对于应用电容式液位传感器的液位检测装置，实现方式与例 1 有所不同。下面就例 2 与例 1 的不同之处加以说明，与例 1 相同之处就不作进一步说明了。

检测电容部分采用谐振方式进行检测，如图 18 所示，原理是，放置在瓶颈两侧的金属电极作为电容的一极，而输送带作为电容的另一极。由于输送带接地，所以传感器测量的是金属电极的对地电容。当液位增高时，对地电容增大。一个可调整的电感 L 和传感器电容 C 并联，组成 LC 谐振回路，它的导纳为  $Y = j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$ 。高频

振荡源输出恒定电流  $\dot{i}$  的正弦波，一条测量电路与谐振回路并联。设谐振回路的电流为  $\dot{i}_1$ ，测量电路的电流为  $\dot{i}_2$ ，则  $\dot{i} = \dot{i}_1 + \dot{i}_2$ 。已知液位 F 越高，电容 C 越大，当  $C \leq \frac{1}{\omega^2 L}$ ，C 越大， $|Y|$  越小， $|\dot{i}_1|$  越小， $|\dot{i}_2|$  越大；当  $C > \frac{1}{\omega^2 L}$ ，C 越大， $|Y|$  越大， $|\dot{i}_1|$  越大， $|\dot{i}_2|$  越小。测量电路把电流  $\dot{i}_2$  整流滤波后输出直流电压 U。据此，可以得到液位 F 与输出电压 U 的关系曲线（如图 21）。通常饮料瓶中的液位变化有限，通过调节 L 的值，使得传感器在检测范围内，U 随 F 单调增( $S_1$ )或单调减( $S_2$ )。这样，只要把实际测得的 U 和给定的 U 比较，就可以判断液位是否合格了。

具体电路是，检测电容的一极包括相连的两个极板连接高频振荡源的输出端，另一极有一个极板，该极板接地；与高频振荡源连接的极板与检测电路的输入端连接。具体使用时，相连的两个极板设在被测液面的两侧。由于运送被检品的输送带接地，所以，上述电容中接地的一极即为输送带。（如图 18）

液位检测装置比例 1 中的装置减少了一个光电开关，增加了一个编码器，具体而言是电容式液位传感器输出的信号经 A/D 转换后输出到单片机，光电开关的输出连接到单片机的输入端，编码器的输出也连接到单片机的输入端，显示装置和剔除器分别连接单片机的输出端。

由于在生产线上，一个瓶子要先后经过液位检测传感器和剔除器。为了保证两个设备都能准确地对同一个瓶子进行检测或动作，而不会误判，需要一个装置来准确地测量瓶子运行的位移。安装在输送带上的编码器可以产生固定步长的脉冲信号，这样，可以计算编码器产生的脉冲信号来间接地测量瓶子的位移。

如图 20 所示，检测时瓶子首先通过光电开关，光电开关发出的信号被单片机寄存，用于标记这个检测瓶。同时，光电开关发出的信号也启动了单片机中的计数器，计数器开始计算编码器产生的脉冲信号，当瓶子到达液位检测传感器时，计数器发出到达信号，这时，传感器得到数据就被采集到单片机中。经过比较运算后，如果这个瓶子不合格，则当瓶子到达剔除器时，单片机发出信号给剔除器，准确剔除该瓶。

### 应用本发明的试验结果与分析

把编写好的软件通过电脑和仿真器写入单片机中。调试传感器，使传感器达到最佳工作状态。将装置各设备连接好。

以 620ml 的玻璃啤酒瓶为试验对象，设定距瓶底高度为 193mm 的液位是标准液位高度，同时调整电容传感器的高度，使传感器极板的下边沿和液位在同一高度。适当调整两块电容极板的间距，防止瓶子在运行过程中碰触极板，本试验中两块极板相距 70mm，其中极板与瓶颈相距 5mm。关闭剔除器，启动输送带，让瓶子从传感器两极板的中间以 1m/s 匀速通过，反复试验 50 次，记录下每次 A/D 转换的结果，把其中的最小值作为给定值。接着，把与标准液位差为 -2mm, -1mm, +1mm, +2mm 的瓶子各试

验 50 次。当液位比标准液位低 2mm 时, 液位不合格, 应该被剔除, 实际运行结果是每次低液位瓶都能被剔除, 所以这一组试验表明对比标准液位低 2mm 的玻璃瓶, 液位检测系统的正确率达到了 100%; 当液位比标准液位低 1mm 时, 液位不合格, 应该被剔除, 实际运行结果是每次低液位瓶都能被剔除, 所以这一组试验表明对比标准液位低 1mm 的玻璃瓶, 液位检测系统的正确率达到了 100%; 当液位比标准液位高 1mm 时, 液位合格, 应该不被剔除, 实际运行结果是有 3 次瓶子被误剔除, 所以这一组试验表明对比标准液位高 1mm 的玻璃瓶, 液位检测系统的正确率达到了 94%; 当液位比标准液位高 2mm 时, 液位合格, 应该不被剔除, 实际运行结果是每次瓶子都顺利通过, 没有被剔除, 所以这一组试验表明对比标准液位高 2mm 的玻璃瓶, 液位检测系统的正确率达到了 100%。以上试验结果如表 1 所示。

表 1 试验数据表(玻璃瓶, 标准液位高度  $h=193\text{mm}$  极板间距  $d=70\text{mm}$ )

与标准瓶的液位差(mm)	与标准瓶的净含量差(ml)	剔除次数(次)	未被剔除次数(次)	正确率(%)
-2	-5	50	0	100
-1	-2.5	50	0	100
1	2.5	3	47	94
2	5	0	50	100

基于相同的方法和速度, 以 550ml 的塑料矿泉水瓶为试验对象, 可以得到另一组试验数据, 如表 2 所示。

表 2 试验数据表(塑料瓶, 标准液位高度  $h=179\text{mm}$  极板间距  $d=70\text{mm}$ )

与标准瓶的液位差(mm)	与标准瓶的净含量差(ml)	剔除次数(次)	未被剔除次数(次)	正确率(%)
-2	-5	50	0	100
-1	-2.5	49	1	98
1	2.5	0	50	100
2	5	0	50	100

可以看出, 不论玻璃瓶还是塑料瓶, 本传感器都能达到 1mm 的检测精度, 能检测到的净含量差别也远小于质检总局要求的 15ml, 所以本液位检测系统具有较高的精确度。我国国产的饮料包装生产线的生产速度一般在 10 瓶/秒以内, 输送线的运行速度在 1m/s 以内, 而本系统在 1m/s 的速度下能正常运行, 所以能够满足生产线的速度要求。由于传感器检测的是包装中液体的体积, 所以检测不受泡沫和瓶上标签的影响。

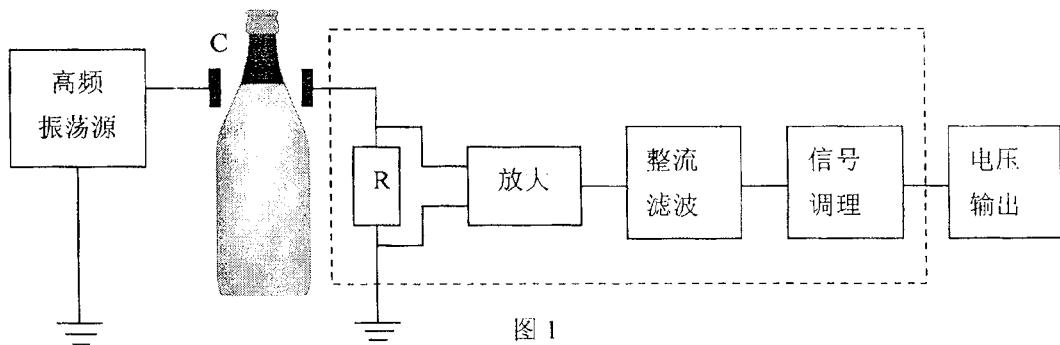


图 1

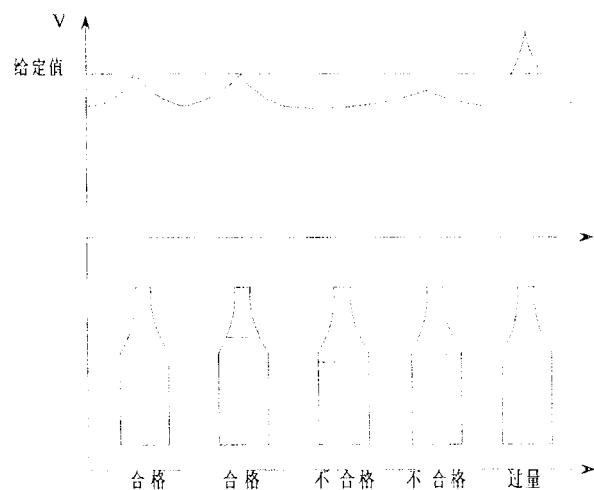


图 2

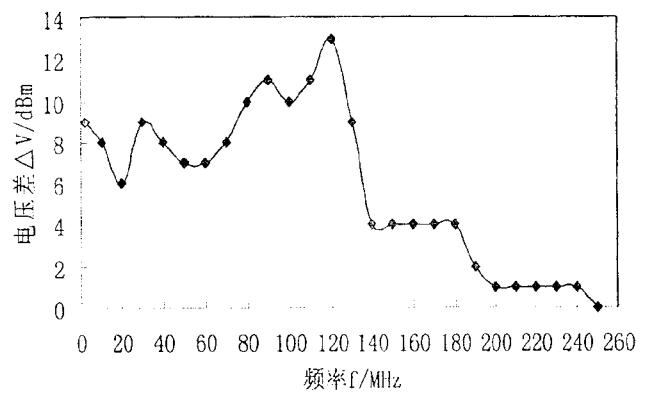


图 3

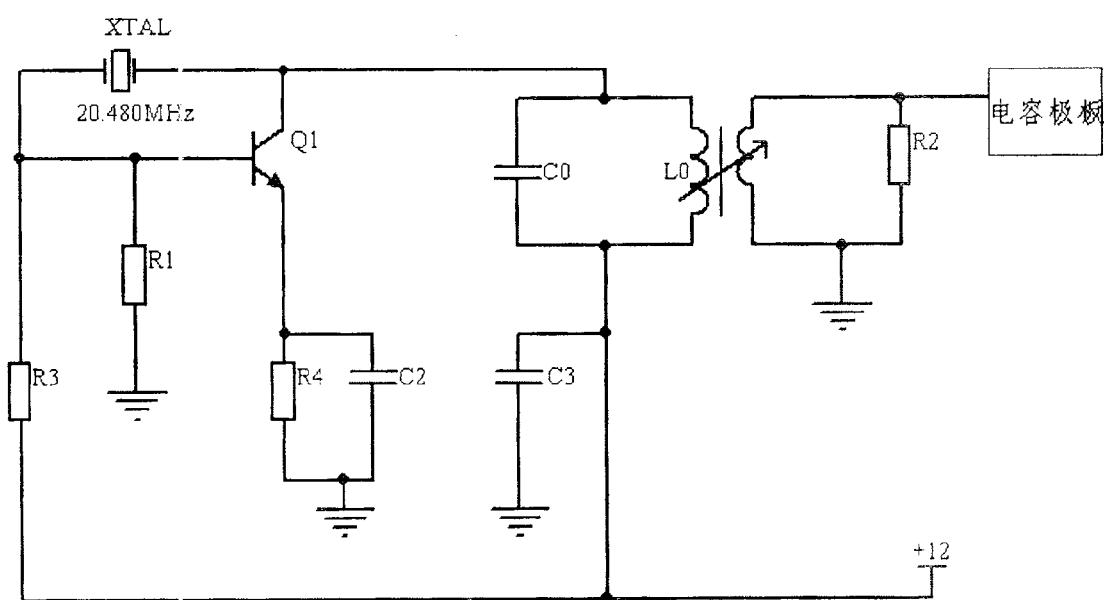


图 4

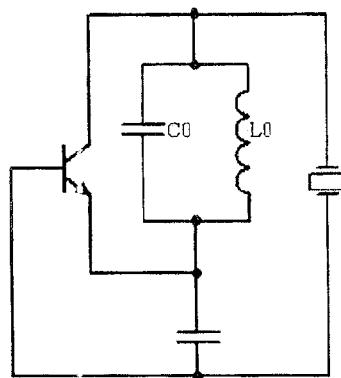


图 5

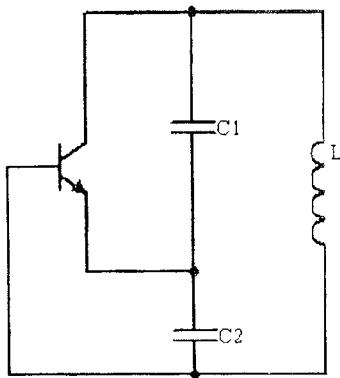


图 6

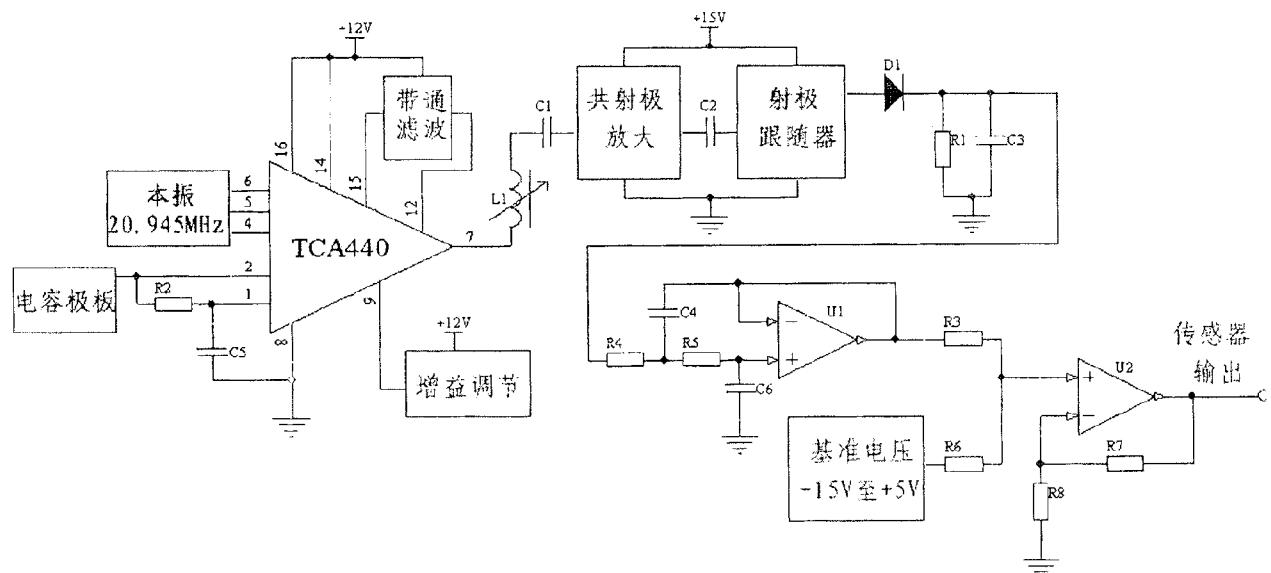


图 7

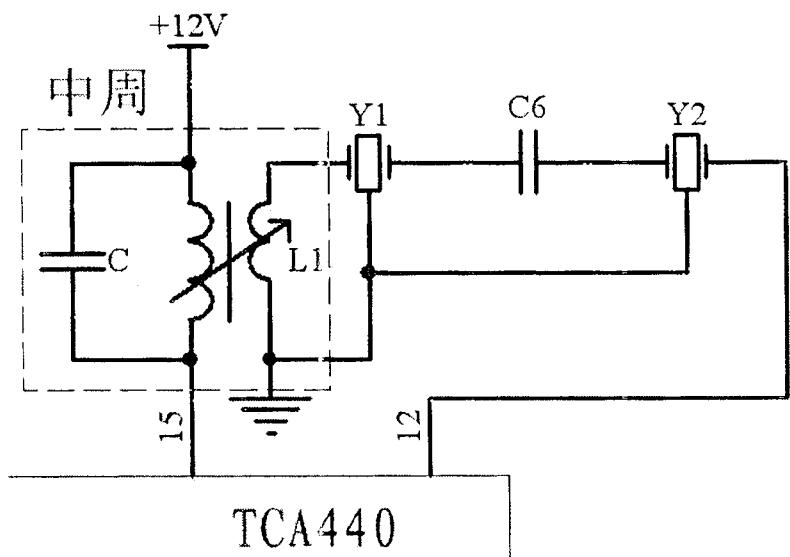


图 8

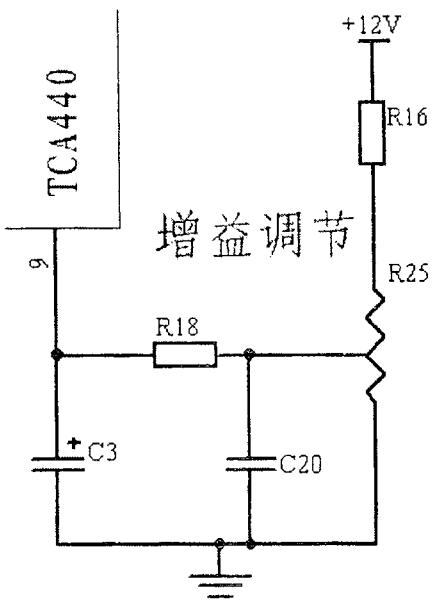


图 9

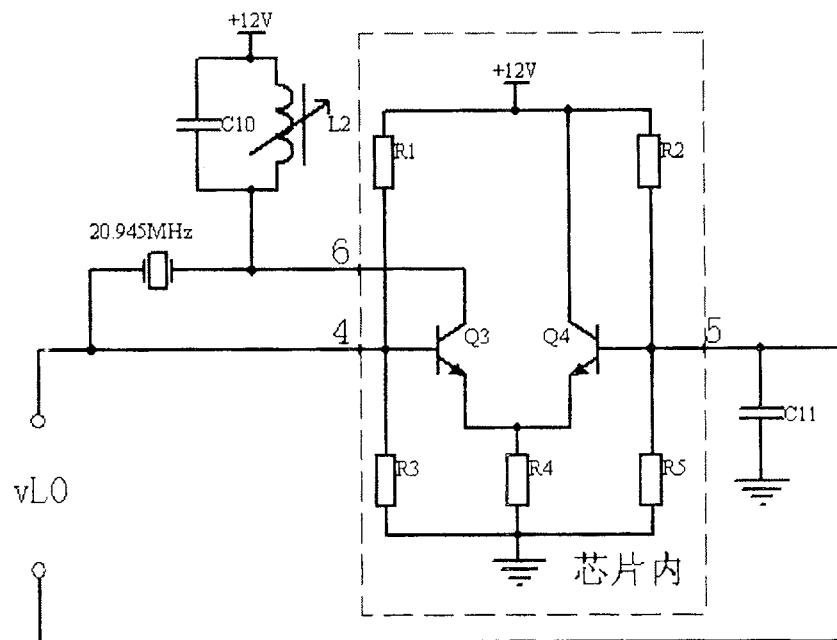


图 10

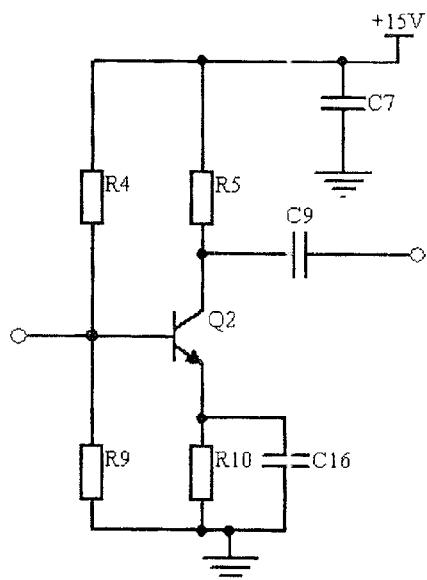


图 11

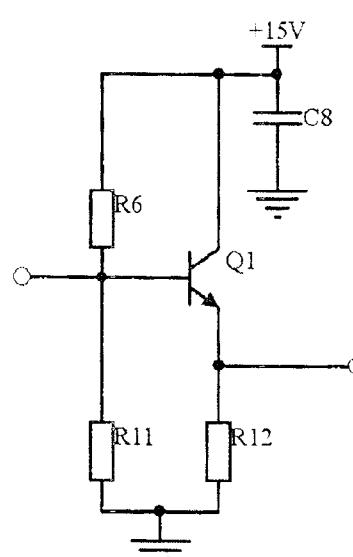


图 12

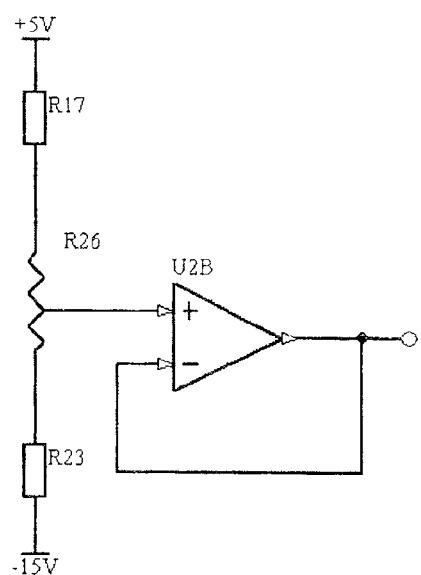


图 13

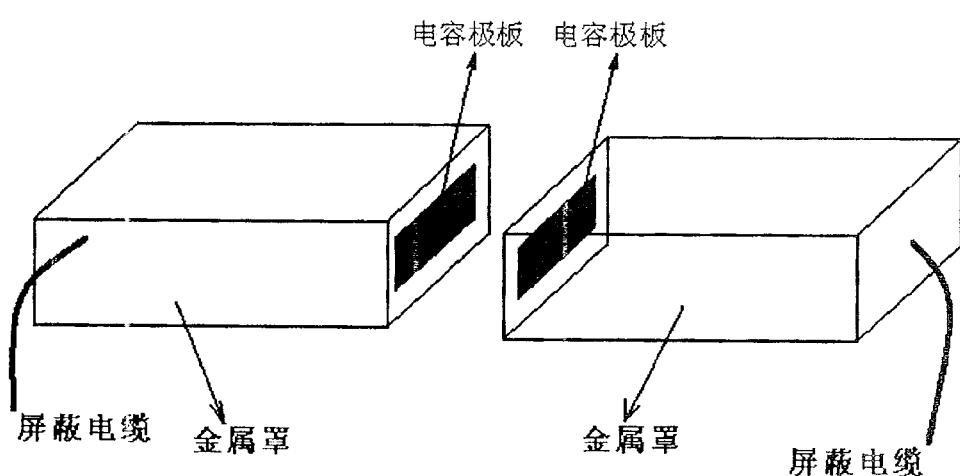


图 14

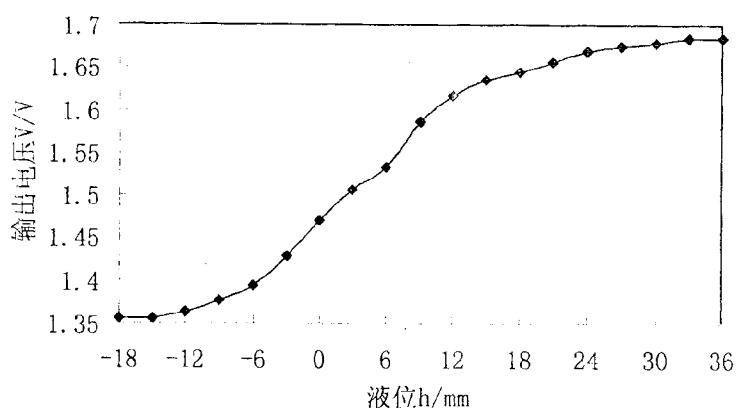


图 15

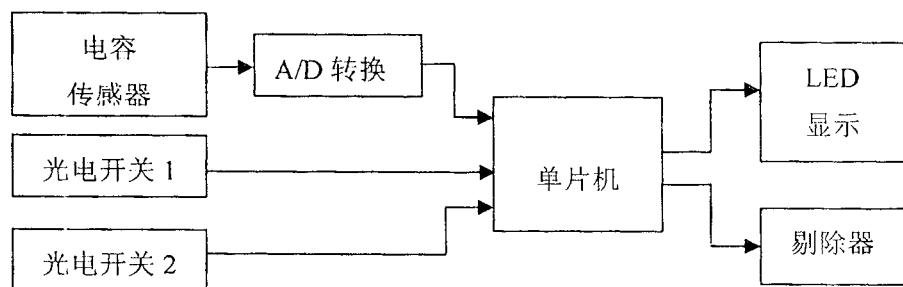


图 16

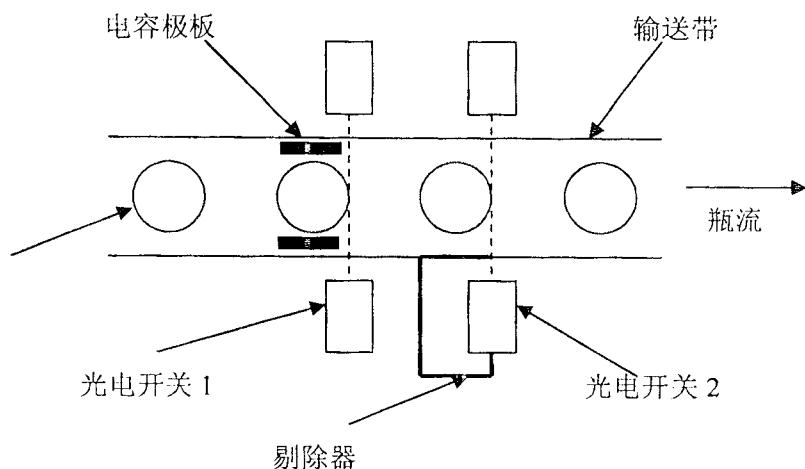


图 17

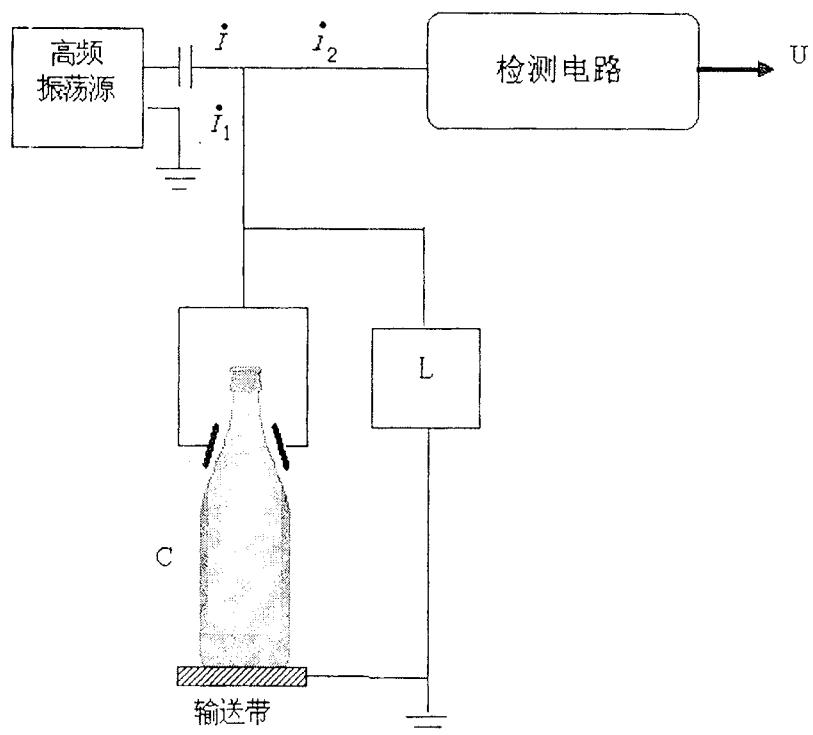


图 18

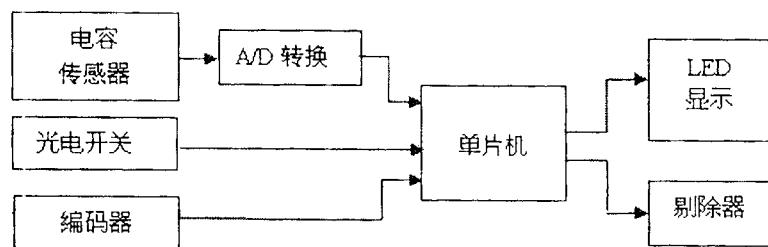
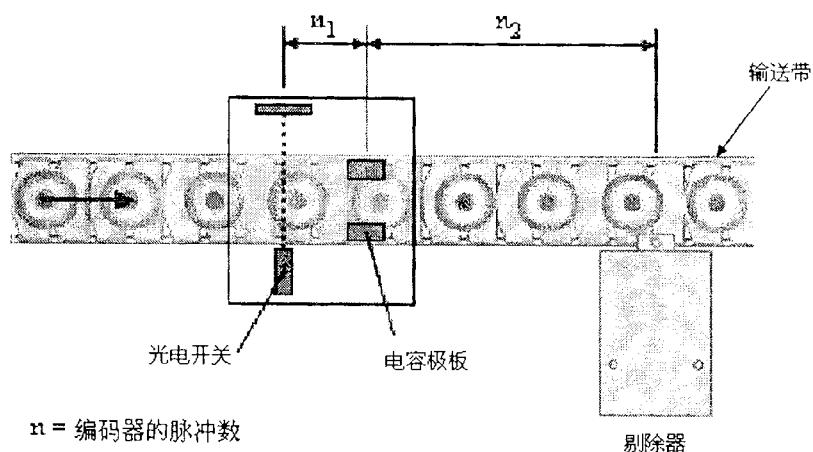


图 19

 $n = \text{编码器的脉冲数}$ 

剔除器

图 20

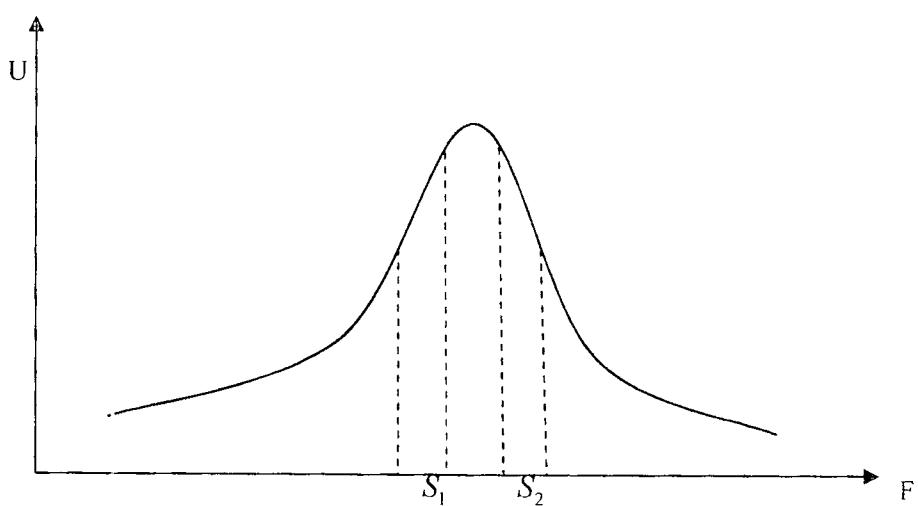


图 21