(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104683038 A
(43)申请公布日 2015.06.03

(21)申请号 201510105114.7

(22)申请日 2015.03.11

(71)申请人 西南科技大学
地址 621010 四川省绵阳市涪城区青龙大道中段59号

(72)发明人 江虹 杨俊 金世燕 殷明勇 张影 付云生 马绍良 张秋云

(51)Int.Cl.
H04B 11/00(2006.01)

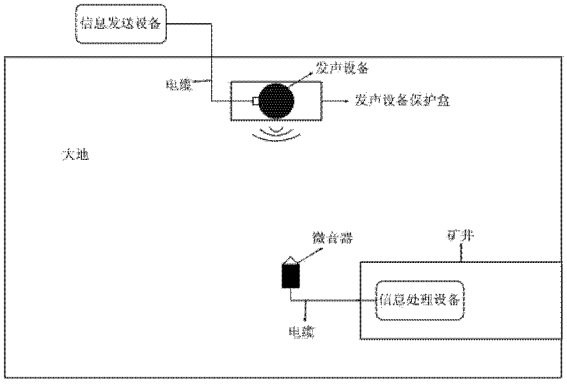
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种基于声波的数据透地传输方法

(57)摘要

一种基于声波的数据透地传输方法，属于透地通信技术领域。其特征在于采用低频正弦波作为信息载体，待发送数据通过信息发送设备进行放大、调制等处理后，通过发声设备产生声波信号并耦合到大地，完成数据的发送；信息发送到接收端后，声波传感器感知声波信号并转换为电信号，该电信号通过接收端信息处理设备进行信号放大、滤波、解调等处理后，恢复发送端发送的信息。该方法采用脉宽调制解调技术，提高了数据传输的可靠性，并结合硬件滤波和软件滤波，保证信息的低误码率，可有效应用于煤矿等地下作业环境中，地面对地下的信息发布以及灾难发生时的抢险救灾工作。



CN 104683038 A

1.一种基于声波的数据透地传输方法，包括数据发送端和数据接收端；数据发送端包含六个部分：电源电路、正弦信号产生电路、脉宽调制电路、功率放大电路、微处理器系统和声波发声器；微处理器系统以MCU微控制器（如STM32F405）为主，完成正弦信号生成、脉宽调制等功能；正弦信号发生器在微处理器的控制下产生连续的低频正弦波信号（如100Hz），待发送信息经过微处理器后，微处理器的数字输出控制正弦波的连续性，实现信息的脉宽调制；数字输出调制后的正弦信号经过功率放大电路，声波发生器根据功率放大后的模拟信号发出对应频率的声波；数据接收端包含七个部分：电源电路、微弱信号放大电路、带通滤波器电路、包络检波电路、信号比较器电路、微处理器电路和LCD显示电路；声波传感器（微音器）输出电压信号通过由仪表放大器构成的小信号放大器，该放大器可有效的抑制共模信号，将声波传感器输出的差模信号放大输出至带通滤波器；根据带通滤波器器输出信号特点，包络检波器提取输出信号的包络，恢复原始模拟信号；恢复后的模拟正弦信号通过电压比较器输出微处理器可识别的PWM波，微处理器根据输入PWM波的不同脉宽，结合软件滤波算法，获取不同的二进制信息，恢复发送端发送的数字信息，完成脉宽调制信号解调；微处理器将恢复后的信息准确显示在LCD液晶屏幕上。

2.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于包含电源电路：发送端输入220V、50Hz交流电，经过变压器后输出所需要的电压值，然后通过整流滤波处理后将交流电压变为直流电压，直流电压通过LDO线性稳压器得到发送端各模块需要的直流电压；其中，采用高电压、大电流输出直流电压IC为功率放大器提供电源，其余各模块主要电源IC包含12V稳压器（如LT1083-12）、5V稳压器（如TPS75901）和3.3V稳压器（如TPS75933）；12V稳压器将整流滤波后的直流电压稳压至12V，5V稳压器将直流电源降压至5.0V，3.3V稳压器将5.0V电压降压至3.3V；接收端输入电压范围为5~9V直流电压，主要IC包括5V稳压器（如TPS75901）和3.3V稳压器（如TPS75933）；各电源电路设计均采用去耦电容滤波以提高电源的稳定性。

3.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于发送端包含正弦信号产生电路，该电路产生的低频正弦信号（如100Hz）作为数字信息的模拟化信号，主要功能为：驱动发声设备发出对应频率的声波信号。

4.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于发送端包含脉宽调制电路，它是利用微处理器的数字输出来对模拟电路进行控制的一种非常有效的技术；根据发送信息的二进制序列，通过对低频正弦信号（如100Hz）的通断控制，实现数字信息模拟化。

5.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于发送端包含功率放大电路，由于发生设备发出的声波需进行远距离传输，采用功率放大电路将调制后的信号进行功率放大，以达到远距离传输目的。

6.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于接收端的微弱信号放大电路；为了提高微弱信号检测精度，放大电路对声音传感器（微音器）输出信号进行放大，同时抑制共模干扰。

7.根据权利要求1所述，基于声波的数据透地传输方法；其特征在于接收端包含带通滤波器电路，该电路有效抑制二进制信息载波频率（如100Hz）以外的信号，提取带有信息的低频正弦信号。

8. 根据权利要求 1 所述，基于声波的数据透地传输方法；特征在于接收端的脉宽调制信号解调；根据权利 7 所述，从带通滤波器得到间断的正弦信号经过包络检波器后，得到与发送端调制信号相同的包络信号，该信号再通过电压迟滞比较器，得到不同脉宽的 PWM 信号；微处理器采集 PWM 信号的脉宽，根据脉宽时间的不同分别译为不同的二进制序列，恢复原始数据。

9. 根据权利要求 1 所述，基于声波的数据透地传输方法；特征在于接收端软件滤波算法；由于外界干扰严重，在硬件滤波的基础上加入软件滤波；微处理器对信息的软件滤波处理方式为限幅滤波法。

10. 根据权利要求 1 所述，基于声波的数据透地传输方法；特征在于基于 LCD 的液晶显示电路；解调后的信息通过 LCD 显示，有效实现人机交互。

一种基于声波的数据透地传输方法

技术领域

[0001] 本发明应用背景为在煤矿等地下作业环境中，地面到地下的信息通信，发明内容涉及信息的调制解调以及数据的收发，其目的在于提高信息传输距离，提高接收系统接收灵敏度，降低信息误码率，属于透地通信技术领域。

背景技术

[0002] 在很多地下作业环境，如煤矿、石油等领域，需要保证地面与地下通信系统的畅通，以便地下工作人员了解地面情况或地上工作人员向地下发送预报信息，因此透地通信要保证数据的有效性、准确性和实时性等要求。目前，典型的透地通信方法主要有利用电磁波或弹性波作为信息载体，完成数据的收发。利用电磁波作为信息传输介质是比较通用且成熟的技术，国内外也有相关的产品，如澳大利亚矿山技术公司开发的 PED 系统，该系统采用天线磁感应近场低频电磁波技术，能实现信号穿透岩层进行无线通信。基于弹性波进行透地通信的技术是利用机械振动将电能转换为机械能进而传递信息，在这方面虽然有一定的研究，但还没涉及成熟的产品。

[0003] 利用天线磁感应低频电磁波方式进行数据透地传输，需要设计很大尺寸的天线，如 PED 系统一般采用十几公里的巨型环形天线，以完成信号的有效覆盖。但是，由于天线巨大，给设备的安装、运营以及维护等带来极大的不便，同时也使得成本增加。国内对利用弹性波进行数据透地传输也做了一定研究，如山东科技大学相关研究人员对利用声波进行透地通信做出了很多努力，也有相关的专利和研究论文等成果。但在信息的调制解调方式上采用比较复杂的通信调制方式，如 OFDM 技术等，使得系统的软硬件都比较复杂。

[0004] 除了上述两种方式外，还有一种透地传输方式为地电极电流场方式。该通信方式利用低频电场电流信号承载信息数据，通信系统发送端和接收端利用插入大地的两组电极实现信号的收发。但该传输方式严重受制于大地的环境参数，电极与大地的接触阻抗严重影响通信距离以及接收灵敏度。

发明内容

[0005] 为实现地上与地下的有效通信，本发明针对上述不足之处，提供了一种基于声波的数据透地传输方法。该方法采用低频声波作为信息载体，从而增加数据透地传输距离，同时采用脉宽调制解调技术完成对数据的低误码率发送和接收。为实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

一种基于声波的数据透地传输方法，包括数据发送端和数据接收端。数据发送端包含六个部分：电源电路、正弦信号生成电路、脉宽调制电路、功率放大电路、微处理器电路和声波发生器；数据接收端包含七个部分：电源电路、微弱信号差分放大电路、带通滤波器电路、包络检波电路、信号比较器电路、微处理器电路和 LCD 显示电路。

[0006] 数据发送端，微处理器电路以 MCU 微控制器(如 STM32F405)为控制核心，完成正弦信号的生成、脉宽调制控制等功能。正弦信号发生器在微处理器的控制下产生连续的低频

正弦波(如 100Hz)信号,待发送信息经过微处理器后,转换成二进制序列,微处理器的二进制输出序列控制正弦波的连续性,实现信息的脉宽调制。经数字输出调制后的正弦信号经过功率放大电路,声波发生器根据功率放大后的模拟信号发出对应频率的声波,耦合至大地。

[0007] 数据接收端,声波传感器输出电压信号通过由仪表放大器构成的差分放大器,该放大器可有效的抑制共模信号,将声波传感器输出的差模信号放大输出至带通滤波器。根据放大器输出信号特点,包络检波器提取输出信号的包络,恢复原始信号模拟信号。恢复后的模拟正弦信号通过电压比较电路输出微处理器可识别的 PWM 波,微处理器根据输入 PWM 波的不同脉宽,结合软件滤波算法,获取不同的二进制信息,恢复发送端发送的数字信息,完成脉宽调制信号解调。最后,微处理器将恢复后的信息准确显示在 LCD 液晶屏幕上,实现人机交互。本发明操作简单,在发送方,发送设备上电后,操作人员在相应的上位机软件上输入待发送的信息,该信息通过发送系统处理后便可完成信息的有效发送。在接收方,操作人员只需打开接收设备就可通过 LCD 实时观察发送方发送的信息。

附图说明

[0008] 图 1 为本发明总体结构框图;

图 2 为本发明发送端结构框图;

图 3 为本发明脉宽调制电路示意图;

图 4 为本发明功率放大电路示意图;

图 5 为本发明接收端结构框图;

图 6 为本发明微弱信号差分放大电路示意图;

图 7 为本发明带通滤波器电路示意图;

图 8 为本发明脉宽解调电路示意图;

图 9 为本发明 LCD 显示电路示意图;

图 10 为本发明发送端工作流程示意图;

图 11 为本发明接收端工作流程示意图。

具体实施方式

[0009] 附图中,相同部分在不同的视图中采用相同的标号表示,并且所描述的各种元件不必按照比例绘制,下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0010] 图 1 描述一种基于声波的数据透地传输方法系统结构,包含信息发送端和信息接收端。在地面上,操作人员通过相应的上位机软件将待发送的信息发送至信息发送设备,该设备对信息进行调制放大后,通过电缆输入到发声设备。为了使声波能更好地和大地耦合,发声设备掩埋在大地之中。在地下,微音器嵌入在大地之中,接收来自地面的声波信号,当发送方发送信息时,发声设备产生对应频率的声波信号,此时微音器感应此声波信号,并将声波信号转换为电信号,通过电缆传送到矿井中的信息处理设备。信息处理设备根据声波特性恢复原始信息并显示。

[0011] 图 2 是发送端总体结构框图,包括电源部分、正弦信号产生电路、脉宽调制电路、功率放大电路以及微处理系统。设备输入电源为 220V、50Hz 交流电,经过整流滤波后转换

为直流电压，通过稳压 IC 稳压后，直接供给设备各个功能模块电路。其中，采用高电压、大电流输出直流电压 IC 为功率放大器提供电源，5V 稳压器（如 TPS75901）将直流电压稳压至 5.0V，供给正弦信号产生电路和脉宽调制电路，3.3V 稳压器（如 TPS75933）将 5.0V 电压降压至 3.3V，供给微处理器电路。整个系统以微处理系统为核心，完成数据的调制和发送。

[0012] 微处理器系统主要由 MCU（如 STM32F405）构成的微处理器以及相应的外围电路构成，外围电路包括复位电路、时钟电路以及操作按键电路等。首先，用户信息进入微处理器系统，由微处理器控制正弦信号产生电路和脉宽调制电路，完成信息调制。最后，将已调制信号进行功率放大，通过发声设备将电信号转换为声波信号。

[0013] 图 3 是脉宽调制电路，该调制电路包含正弦信号生成电路、时钟电路和模拟开关电路。正弦信号发生器采用可编程频率合成器（如 ADI 公司的 AD9850），实现全数字编程控制的频率合成。为了保证频率合成器产生预期的频率信号，在其外围加入时钟电路为频率合成器提供时钟源，同时，微处理器通过数据总线与控制总线与频率合成器相连，实现相互之间的通信。为了有效抑制高频信号成分对输出信号的影响，在频率合成器后接入 2 阶椭圆低通滤波器。频率合成器输出的信号通过模拟开关，微处理器控制模拟开关的通断，从而将连续的正弦信号变为断续的正弦信号，根据正弦信号出现时间的长短，实现二进制数字“0”、“1”的调制。

[0014] 图 4 是功率放大电路，根据具体传输距离要求，可选择不同功率放大 IC，设计功放电路达到最小的发射功率。经脉宽调制后的模拟信号通过音频接头连接至功率放大 IC 的输入端，由功率放大 IC 及相应的外围电路进行放大。为了抑制因信号功率放大时引入的高频谐波成分，在输出端加入与发声设备阻抗相匹配的 LC 低通滤波器，并通过 BNC 接头将输出信号传送到发声设备。发声设备根据输出信号频率的变化以及信号的不同持续时间，发出对应频率的声波信号。

[0015] 图 5 是接收端总体结构框图，包括电源电路、差分放大电路、滤波电路、包络检波电路、电压比较器电路、微处理系统和 LCD 显示电路。掩埋在大地中的微音器接收发送端发声设备发出的声波信号，由于微音器对声波信号具有非常高的灵敏度，使得接收系统灵敏度很高。微音器将采集到的声波信号转换为电信号后，通过 SMA 接口电缆线传送到小信号差分放大电路。该差分电路对小信号进行放大，由于存在外部环境干扰，放大后的信号必须通过带通滤波器，得到有用的中心频率信号，该频率信号即为发送端信息的载波频率（如 100Hz 正弦波）。由于滤波器不能完全的得到单一频率点的信号，所以滤波后的信号具有一定的拖尾性。因此，滤波后的信号经过包络检波，恢复出原始信号的包络，但该包络信号仍然不能直接很好地被微处理器识别处理，通过电压比较器可很好解决这一问题。为了更好抑制包络信号边沿毛刺信号，采用迟滞比较器电路进行信号转换。包络信号经过迟滞比较器，与参考电压相比较，得到不同脉宽的 PWM 信号，该信号可直接送入微处理器进行判决，从而恢复出二进制序列信号。最后，通过微处理器控制 LCD 显示屏，显示接收到的数据。

[0016] 接收设备输入电源为 5~9V 直流电压，采用 5V 稳压器（如 TPS75901）将直流电压稳压至 5.0V，供给放大电路、滤波电路、包络检波电路以及电压比较器电路，采用 3.3V 稳压器（如 TPS75933）将 5.0V 电压降压至 3.3V，供给微处理器电路以及 LCD 显示电路。整个系统以微处理系统为核心，完成数据的接收和解调。微处理器系统主要由 MCU（如 STM32F405）构成的微处理器以及相应的外围电路构成，外围电路包括复位电路、时钟电路、以及操作按

键电路等。用户可直接通过 LCD 显示屏查看当前接收的信息。

[0017] 图 6 是差分放大电路图。该电路主要由仪表放大器(如 AD620)构成,仪表放大器具有低功耗、高精度特点,能有效抑制共模信号干扰,通过一个外接电阻可方便调节电路增益(1~1000),非常适用于精密数据采集系统。该电路增益满足 $G=1+\frac{100K}{R_g}$, R_g 为外部接入的增益电阻,单位为 $K\Omega$, G 为电路增益。当不接外部电阻 R_g 时,仪表放大器配置为单位增益 ,即 G = 1。在差分输入端每条支路上采用平衡式 RC 低通滤波器抑制射频干扰,其带宽满足 $BW_{LP}=\frac{1}{2\pi R_1 C_1}$,由于采用电桥平衡结构,两条支路的带宽相同。 R_3 为地参考电阻, C_2 跨接在差分输入端,可有效平衡 C_1 和 C_3,进一步抑制共模干扰。

[0018] 图 7 是带通滤波器电路图。该电路主要由高速、轨至轨输入输出的精密运算放大器(如 TI 公司 OPA743)构成,本专利采用精密运算放大器设计带通滤波器,可有效滤除信息载波频率外的干扰信号,并降低因器件本身引起的干扰成分。该电路采用无限增益多路负反馈二阶带通滤波器结构,该电路元器件较少,其中心角频率为 $\omega_0=\sqrt{\frac{1}{R_3C^2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$,通带中心角频率 ω_0 处的电压放大倍数为 :$A_{u0}=-\frac{R_3}{2R_1}$,品质因数 $Q=\frac{\omega_0 CR_3}{2}$。通过调节 R_1、R_2、R_3 或 C,可方便调节滤波器的中心频率。

[0019] 图 8 是脉宽解调电路,包括两个部分 :包络检波和电压比较电路。检波电路采用二极管包络检波,输入信号经过非线性器件检波二极管后,对电容 C_1 进行充放电,得到含有高频分量的包络信号,再由 C_1 和 R_1 构成的低通滤波器滤除高频成分,得到低频分量,该低通滤波器 3dB 截止频率为 $W_{LP}=\frac{1}{2\pi R_1 C_1}$。由于二极管的正向导通特性,包络信号含有直流分量,需通过隔直电容 C_2 滤除直流成分。电压比较器采用迟滞比较器,主要由高速触发的轨至轨输入输出电压比较器 IC(如 ADI 公司的 ADCMP608)构成。该比较器门限值为 $V_{ref}=V_{cc}\times\frac{R_3}{R_2+R_3}$,当包络信号幅值大于 V_{ref},则比较器输出为高,否则输出为低。电路通过 R_f 引入正反馈,则当输入信号幅值在门限值附近有微小干扰而抖动时,输出信号保持不变,即不产生抖动。经比较器输出的 PWM 信号直接送入微处理器,微处理器采集 PWM 信号脉宽,根据脉宽的长短恢复二进制序列信号。

[0020] 图 9 是 LCD 显示电路示意图。微处理器与 LCD 控制器之间主要通过数据总线与控制总线实现通信,微处理器通过控制总线控制 LCD 执行相应的命令以及数据操作,完成 LCD

控制器的配置过程。本专利采用 TFT-LCD，它的每个像素点都设有一个半导体开关，可以做到高速度、高亮度、高对比度显示屏幕信息。LCD 控制器通过 8080 并列式接口与微处理器相连，当接收到信息时，可通过 LCD 面板上“接收到的信息”一栏查看接收的信息。

[0021] 图 10 是发送端程序流程示意图。设备上电时，微处理器完成内部初始化，主要完成内部时钟以及相关寄存器的配置。初始化完成后，微处理器控制频率合成器产生连续的低频正弦波，同时微处理器一直检测是否有待发送的数据。当有待发送的数据时，微处理控制模拟开关，模拟开关根据微处理输出的二进制序列信息进行通断操作，完成连续正弦波的间断化，从而完成二进制数字信息的模拟化，即脉宽调制。当发送完一个字节数据后，微处理器判决是否将待发送信息发送完毕，若已全部完成，则退出发送状态，微处理器进入检测状态；若未发送完毕，则进行下一字节的调制过程，直到所有数据发送完毕。

[0022] 图 11 是接收端程序流程示意图。接收设备上电时，微处理器完成内部初始化，主要完成内部时钟以及相关寄存器的配置。初始化完成后，微处理器实时采集外部输入的PWM信号的脉宽。若无PWM信号，则微处理器一直处于检测状态；若接收到PWM信号，则微处理器启动内部定时器，完成 PWM 信号脉宽的测量。本专利中，采用限幅滤波算法，对采集到的脉宽数据进行进一步处理。若采集到的脉宽数据在t_1到t_2（单位为 ms）之间，微处理器则将该信号判决为一个字节发送的起始位信息；若采集到的脉宽数据在t_3到t_4（单位为 ms）之间，微处理器则将该信号判决为收到一个二进制数字“1”；若采集到的脉宽数据在t_5到t_6（单位为 ms）之间，微处理器则将该信号判决为收到一个二进制数字“0”。每次采集到一位数据时都进行移位操作，完成一个字节数据的接收。微处理器根据起始位信息的有无判断是否已将数据接收完毕，若未接收完毕，则持续接收字节数据，直到单次接收完毕；若已接收完毕，则微处理器处于检测状态，准备接收下一组数据。

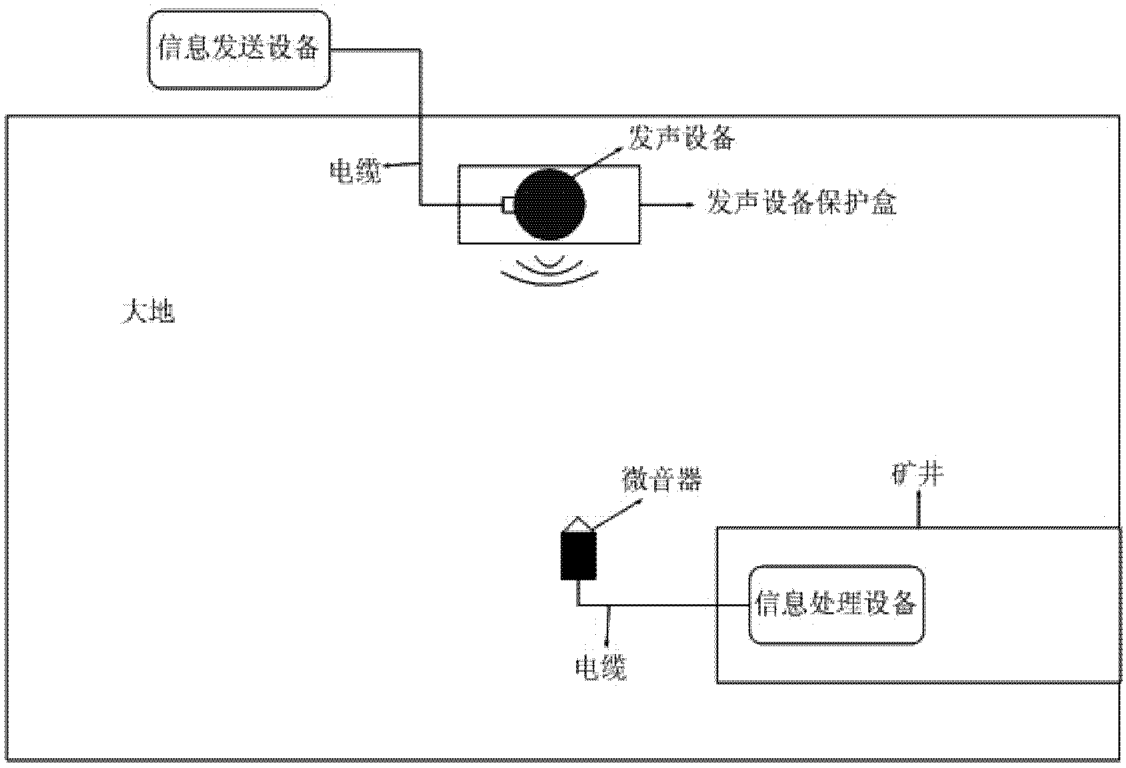

信息发送设备
发声设备
电缆
发声设备保护盒
大地
微音器
矿井
信息处理设备
电缆

图 1

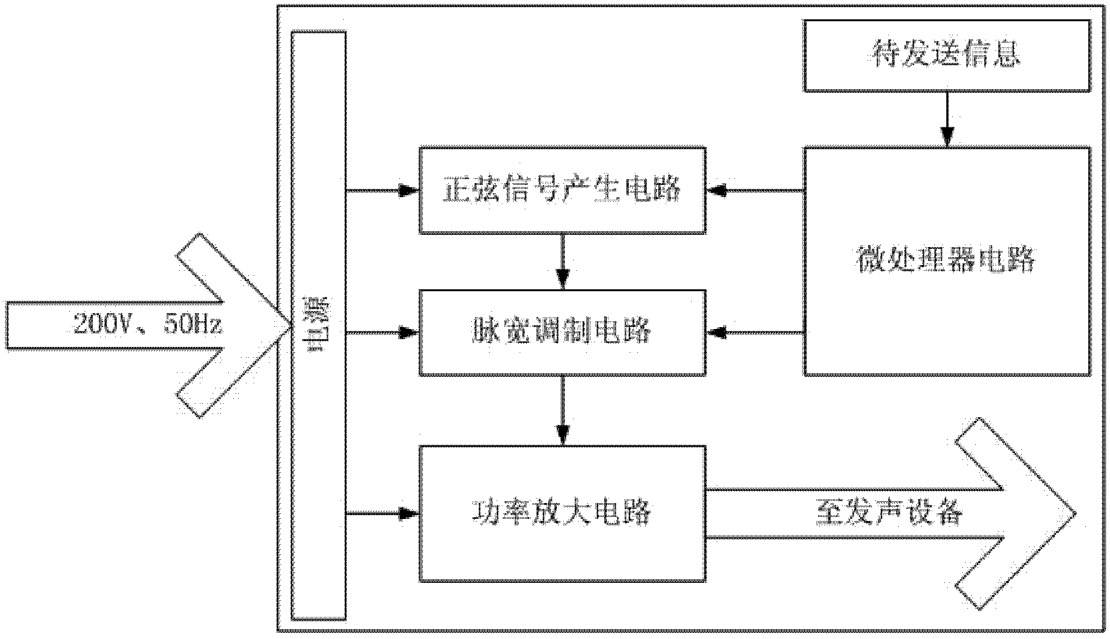

待发送信息
正弦信号产生电路
微处理器电路
200V、50Hz
电源
脉宽调制电路
功率放大电路
至发声设备

图 2

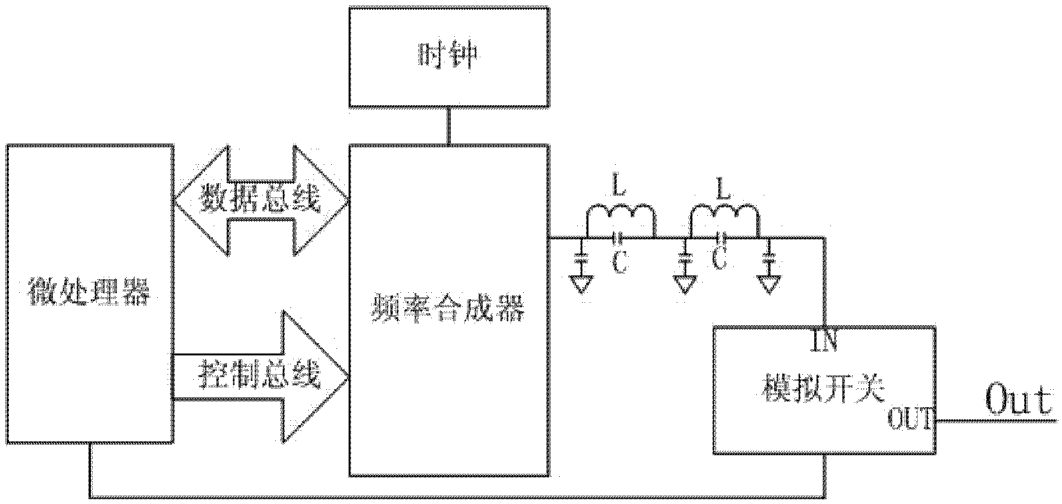

时钟
微处理器
数据总线
控制总线
频率合成器
L
L
C
C
IN
模拟开关
OUT
Out

图 3

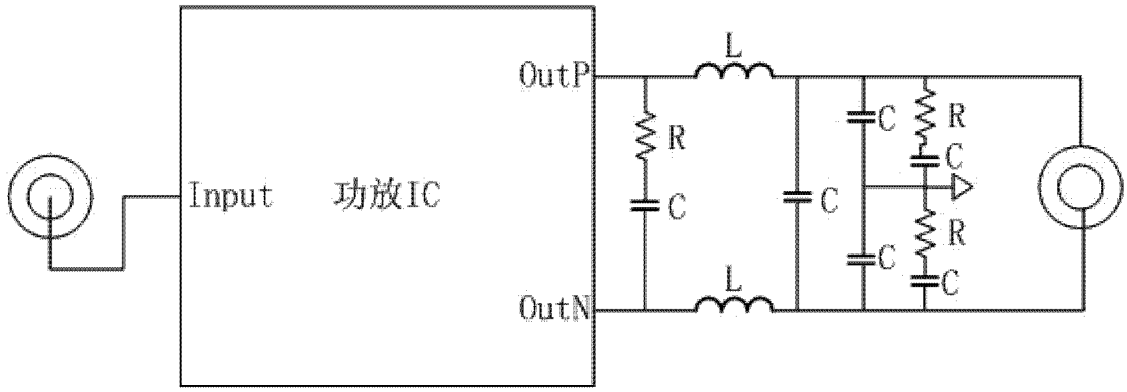

Input
功放IC
OutP
OutN
L
L
R
C
C
C
R
C
C
R
C

图 4

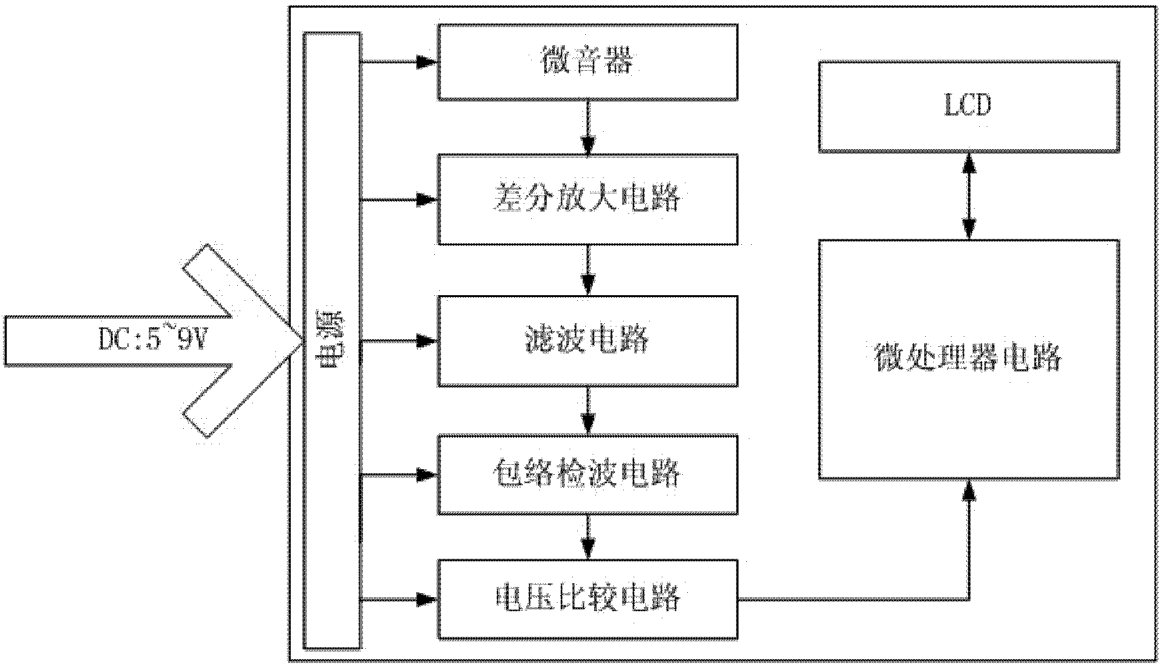

微音器
差分放大电路
滤波电路
包络检波电路
电压比较电路
电源
DC:5~9V
LCD
微处理器电路

图 5

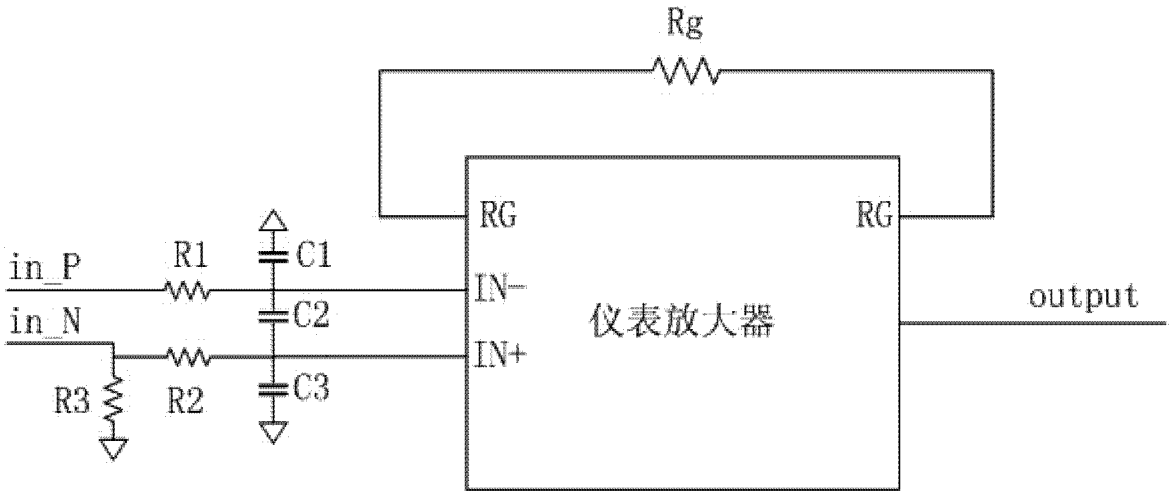

Rg
RG
RG
in_P
R1
C1
in_N
C2
IN-
IN+
仪表放大器
output
R3
R2
C3

图 6

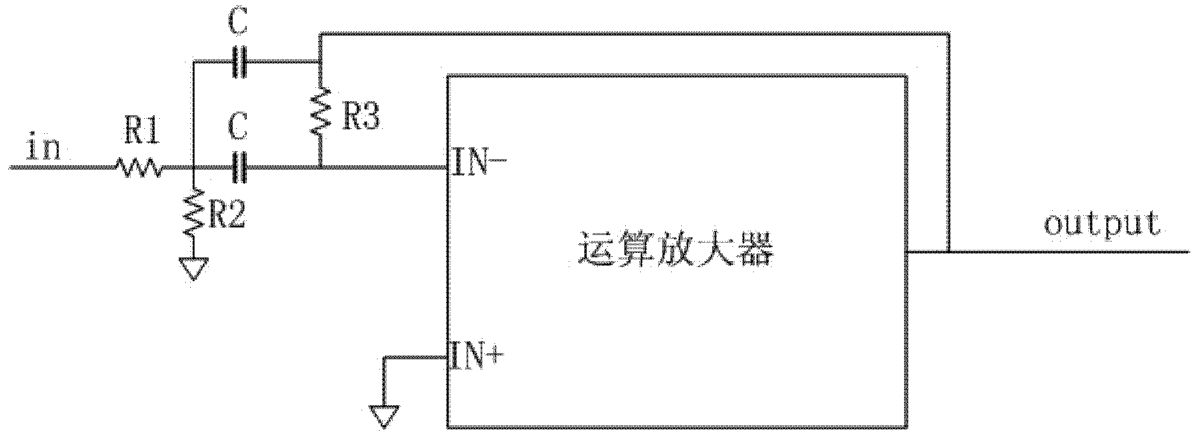

C
R3
in
R1
C
IN-
R2
运算放大器
output
IN+

图 7

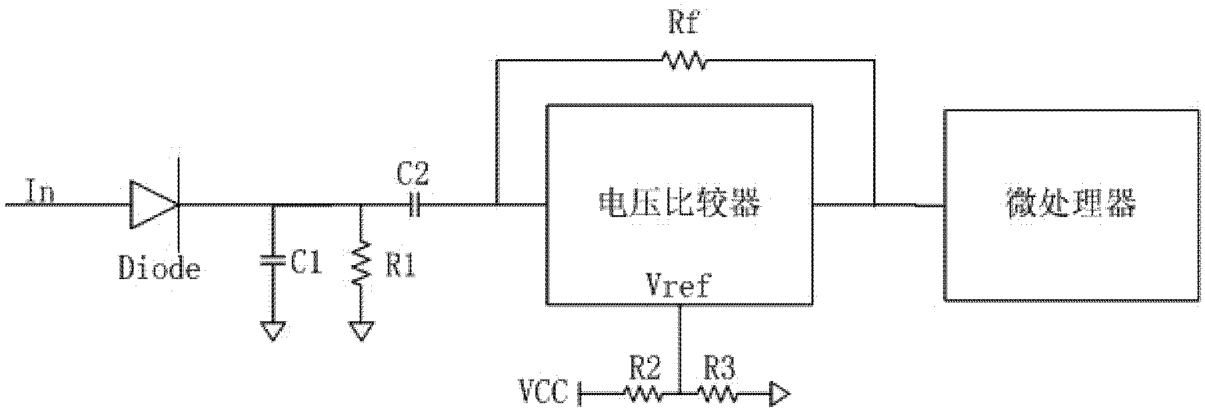

Rf
In
C2
电压比较器
微处理器
Diode
C1
R1
Vref
VCC
R2
R3

图 8

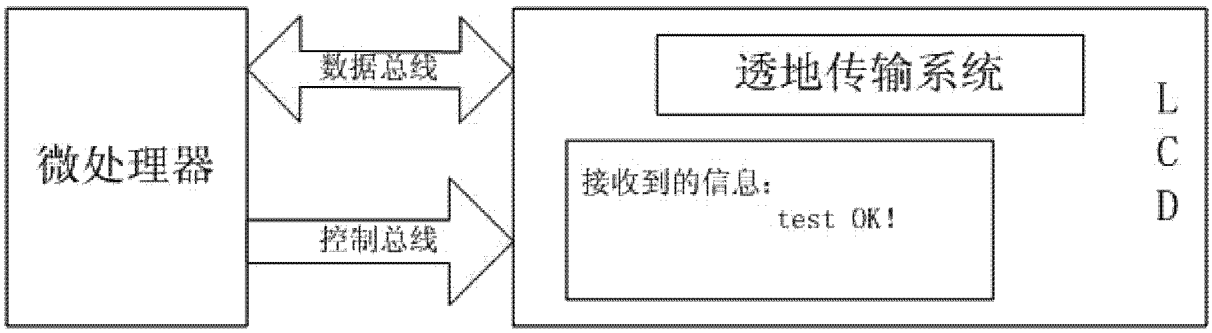

微处理器
数据总线
控制总线
透地传输系统
接收到的信息:
test OK!
LCD

图 9

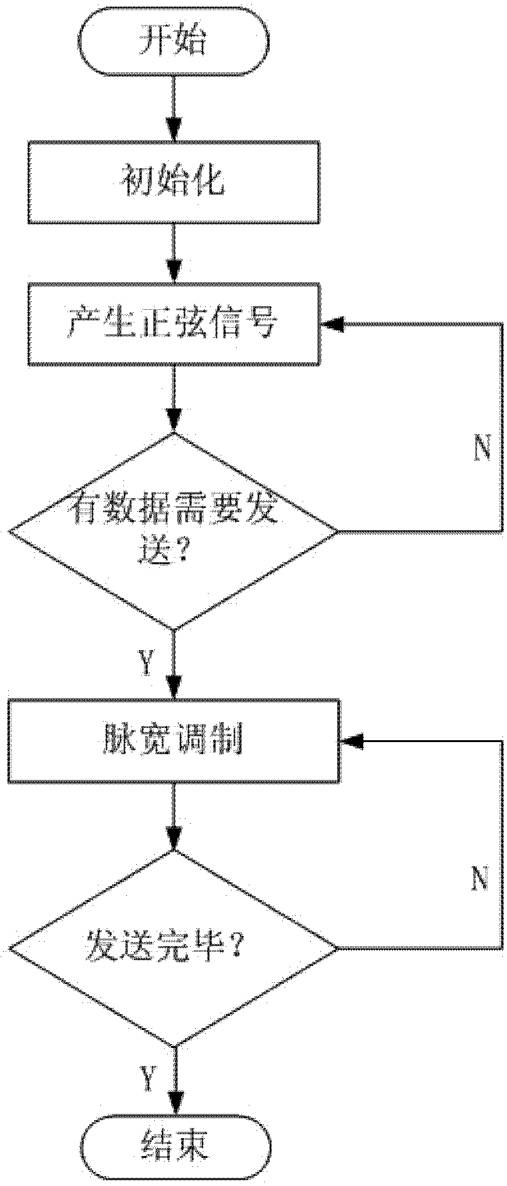


图 10

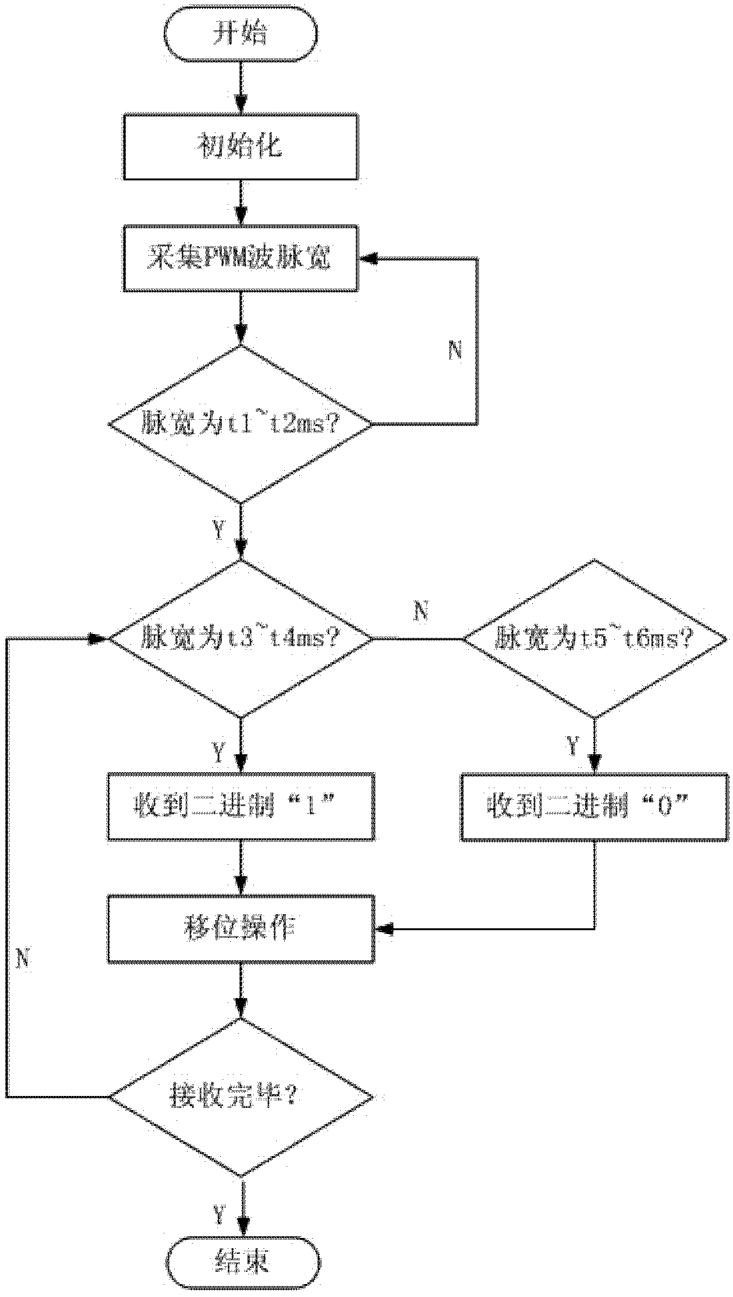

开始
初始化
采集PWM波脉宽
N
脉宽为t1~t2ms?
Y
脉宽为t3~t4ms?
N
脉宽为t5~t6ms?
Y
Y
收到二进制“1”
收到二进制“0”
移位操作
N
接收完毕?
Y
结束

图 11