



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116667888 B

(45) 授权公告日 2023.10.20

(21) 申请号 202310960126.2

H04B 1/04 (2006.01)

(22) 申请日 2023.08.02

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116667888 A

CN 101834473 A, 2010.09.15

WO 2017167225 A1, 2017.10.05

CN 111273362 A, 2020.06.12

(43) 申请公布日 2023.08.29

CN 115441704 A, 2022.12.06

(73) 专利权人 沈阳仪表科学研究所有限公司

CN 112821899 A, 2021.05.18

地址 110043 辽宁省沈阳市大东区北海街
242号

CN 210890597 U, 2020.06.30

CN 212484189 U, 2021.02.05

专利权人 国机传感科技有限公司

WO 9119993 A1, 1991.12.26

(72) 发明人 张军 曾艳丽 宋华东 关洁升

江歌 张成石

张志文. “管道内检测设备机载信号发射机
研制”. 《CNKI 硕士论文》. 2013, 第1-56页.

审查员 王鑫

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

专利代理人 袁晓哲

(51) Int. Cl.

H04B 5/00 (2006.01)

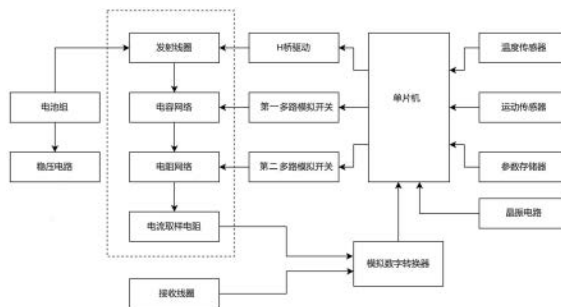
权利要求书2页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种极低频电磁信号发射机

(57) 摘要

本发明公开一种极低频电磁信号发射机, 涉及管道检测技术领域, 该发射机包括: 单片机、磁场发射回路、接收线圈和铁芯; 磁场发射回路包括串联谐振回路和驱动电路, 串联谐振回路包括串联连接的发射线圈、电容网络、电阻网络和电流取样电阻, 驱动电路分别与发射线圈和单片机连接, 驱动电路产生SPWM波形驱动串联谐振回路; 单片机用于调节SPWM波形的参数; 在磁场发射回路停止工作时段, 接收线圈接收外部信号, 单片机从外部信号中识别外部控制信号, 并在下一次磁场发射回路的工作时段, 控制磁场发射回路采用设定的信号调制方式发出响应信号; 单片机根据外部控制信号对SPWM波形的参数进行调节。本发明提高了电源利用效率和应用灵活性。



1. 一种极低频电磁信号发射机,其特征在于,包括:单片机、磁场发射回路、接收线圈、模拟数字转换器和铁芯;所述磁场发射回路包括串联谐振回路和驱动电路,所述串联谐振回路包括依次串联连接的发射线圈、电容网络、电阻网络和电流取样电阻,所述驱动电路分别与所述发射线圈和所述单片机连接,所述驱动电路用于产生SPWM波形驱动所述串联谐振回路;

所述单片机用于调节所述SPWM波形的参数;所述SPWM波形的参数包括占空比;

所述接收线圈与所述发射线圈均绕制在所述铁芯上,所述接收线圈通过所述模拟数字转换器与所述单片机连接;在所述磁场发射回路停止工作时段,所述接收线圈用于接收外部信号,所述单片机还用于从所述外部信号中识别外部控制信号,并在下一次所述磁场发射回路的工作时段,控制所述磁场发射回路采用设定的信号调制方式发出响应信号;所述单片机还用于根据所述外部控制信号对所述SPWM波形的参数进行调节;

所述极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的温度传感器和运动传感器;所述温度传感器用于检测环境温度,所述运动传感器用于检测所述极低频电磁信号发射机的加速度;

所述单片机用于采集所述环境温度和所述加速度,当所述环境温度大于第一阈值且所述加速度大于第二阈值时,通过所述驱动电路启动所述磁场发射回路,否则控制所述磁场发射回路处于停止工作状态。

2. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,还包括第一多路模拟开关和第二多路模拟开关;所述第一多路模拟开关分别与所述电容网络和所述单片机连接,所述第二多路模拟开关分别与所述电阻网络和所述单片机连接;

所述单片机还用于判断所述电流取样电阻的电流是否在设定范围内,若否,则通过所述第二多路模拟开关调节所述电阻网络的阻值;

所述单片机还用于对采集到的所述电流取样电阻的电流和所述驱动电路的输入信号进行相位比较,当出现相位偏移时,则通过所述第一多路模拟开关调节所述电容网络的电容值。

3. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,还包括与所述单片机连接参数存储器;所述参数存储器用于存储工作参数,所述工作参数包括工作电流和所述SPWM波形的参数,所述工作电流为通过所述电流取样电阻的电流。

4. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,所述SPWM波形的参数还包括频率,所述SPWM波形的占空比为0.5/1.5。

5. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,所述驱动电路为H桥驱动电路。

6. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,所述电流取样电阻通过所述模拟数字转换器与所述单片机连接。

7. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,还包括电池组和稳压电路,所述电池组与所述稳压电路连接,所述稳压电路与所述单片机连接。

8. 根据权利要求7所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,还包括外壳、绝缘筒、第一线圈挡块、第二线圈挡块、端盖和电路板,所述外壳和所述端盖螺纹连接,所述外壳外侧焊接有圆片状安装法兰,所述绝缘筒、所述发射线圈、所述接收线圈、所述第一线圈挡块、所

述第二线圈挡块和所述电路板位于所述外壳和所述端盖构成的腔体内,所述电池组位于所述绝缘筒内,所述绝缘筒位于圆筒状的所述铁芯内,所述电路板位于所述端盖内,所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块位于所述铁芯的两端,所述接收线圈和所述发射线圈限于所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块之间,所述接收线圈和所述发射线圈均与所述电路板连接。

9. 根据权利要求1所述的极低频电磁信号发射机,其特征在于,还包括与所述单片机连接的晶振电路,所述晶振电路用于对单片机内部的RC振荡电路频率进行校准。

一种极低频电磁信号发射机

技术领域

[0001] 本发明涉及管道检测技术领域,特别是涉及一种极低频电磁信号发射机。

背景技术

[0002] 埋地钢质长输油气管道需要定期开展管道内检测作业和清管作业;为了实现管道内运行设备的定位,需要在其上安装发射机,发射机发射极低频(Extremely Low Frequency,ELF)电磁波信号,该信号可被安装在管道外指定地点的定位检测装置(通球指示仪或者标记器)检测到,装置可记录通过的时间。当管道内运行设备发生卡堵时,通过手持接收机沿管线巡查极低频电磁波信号的强度,其信号峰值点对应卡堵位置。

[0003] 小尺寸发射机易于安装和维护,但是受到电池容量和发射线圈的尺寸匝数的限制,难以维持一定的持续发射功率,因此,提高电磁波辐射效率和电源利用率非常关键。

[0004] 目前,发射机电源效率低的主要原因是:现有的方案普遍采用单极性或者双极性方波直接激励发射线圈,虽然驱动电路简单,但是电源利用效率低。原因:1.方波中含有的大量直流分量消耗了电能,但是不会被接收机检测到,属于无效分量;2.方波中含有的较高频率的谐波分量会被管道和土壤吸收,不会被接收机检测到;3.发射线圈为多匝线圈,具有较大的电感量,在发射回路中形成感抗,限制了励磁电流和磁场辐射强度。

[0005] 发射机的磁场辐射强度与励磁电流和电感量的乘积成正比。现有的方案中,直接使用电池电压作为励磁电压,未考虑电池电压变化、电池内阻、发射线圈直流电阻值随温度的影响,故无法保证磁场辐射强度的稳定。

[0006] 未进入管道时,误打开电源开关可能导致电池电量被消耗或者耗尽,影响发射机的正常工作。

[0007] 发射机的电路部分灌封后无法从外部更改工作参数;进管后,也无法对其进行控制和获取运行状态。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种极低频电磁信号发射机,提高了电源利用效率和应用灵活性。

[0009] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0010] 本发明公开了一种极低频电磁信号发射机,包括:单片机、磁场发射回路、接收线圈、模拟数字转换器和铁芯;所述磁场发射回路包括串联谐振回路和驱动电路,所述串联谐振回路包括依次串联连接的发射线圈、电容网络、电阻网络和电流取样电阻,所述驱动电路分别与所述发射线圈和所述单片机连接,所述驱动电路用于产生正弦脉宽调制(SPWM)波形驱动所述串联谐振回路;

[0011] 所述单片机用于调节所述SPWM波形的参数;所述SPWM波形的参数包括占空比;

[0012] 所述接收线圈与所述发射线圈均绕制在所述铁芯上,所述接收线圈通过所述模拟数字转换器与所述单片机连接;在所述磁场发射回路停止工作时段,所述接收线圈用于

接收外部信号,所述单片机还用于从所述外部信号中识别外部控制信号,并在下一次所述磁场发射回路的工作时间段,控制所述磁场发射回路采用设定的信号调制方式发出响应信号;所述单片机还用于根据所述外部控制信号对所述SPWM波形的参数进行调节。

[0013] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括第一多路模拟开关和第二多路模拟开关;所述第一多路模拟开关分别与所述电容网络和所述单片机连接,所述第二多路模拟开关分别与所述电阻网络和所述单片机连接;

[0014] 所述单片机还用于判断所述电流取样电阻的电流是否在设定范围内,若否,则通过所述第二多路模拟开关调节所述电阻网络的阻值;

[0015] 所述单片机还用于对采集到的所述电流取样电阻的电流和所述H桥驱动电路的输入信号进行相位比较,当出现相位偏移时,则通过所述第一多路模拟开关调节所述电容网络的电容值。

[0016] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的温度传感器和运动传感器;所述温度传感器用于检测环境温度,所述运动传感器用于检测所述极低频电磁信号发射机的加速度;

[0017] 所述单片机用于采集所述环境温度和所述加速度,当所述环境温度大于第一阈值且所述加速度大于第二阈值时,通过所述驱动电路启动所述磁场发射回路,否则控制所述磁场发射回路处于停止工作状态。

[0018] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的参数存储器;所述参数存储器用于存储工作参数,所述工作参数包括工作电流和所述SPWM波形的参数,所述工作电流为通过所述电流取样电阻的电流。

[0019] 可选地,所述SPWM波形的参数还包括频率,所述SPWM波形的占空比为0.5/1.5。

[0020] 可选地,所述驱动电路为H桥驱动电路。

[0021] 可选地,所述电流取样电阻通过所述模拟数字转换器与所述单片机连接。

[0022] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括电池组和稳压电路,所述电池组与所述稳压电路连接,所述稳压电路与所述单片机连接。

[0023] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括外壳、绝缘筒、第一线圈挡块、第二线圈挡块、端盖和电路板,所述外壳和所述端盖螺纹连接,所述外壳外侧焊接有圆片状安装法兰,所述绝缘筒、所述发射线圈、所述接收线圈、所述第一线圈挡块、所述第二线圈挡块和所述电路板位于所述外壳和所述端盖构成的腔体内,所述电池组位于所述绝缘筒内,所述绝缘筒位于圆筒状的所述铁芯内,所述电路板位于所述端盖内,所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块位于所述铁芯的两端,所述接收线圈和所述发射线圈限位于所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块之间,所述接收线圈和所述发射线圈均与所述电路板连接。

[0024] 可选地,一种极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的晶振电路,所述晶振电路用于对单片机内部的RC振荡电路频率进行校准。

[0025] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0026] 本发明采用SPWM波形驱动,发射磁场波形为近似正弦波,发射的信号中最大限度降低了其他无效频率分量值,提高了电源利用效率;安装有接收线圈,能够与外部控制装置进行双向通讯。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1为本发明实施例提供的一种极低频电磁信号发射机的电路结构示意图;

[0029] 图2为本发明实施例提供的一种极低频电磁信号发射机的机械结构示意图;

[0030] 图3为本发明实施例提供的磁场发射回路原理图;

[0031] 图4为本发明实施例提供的单片机电路原理图;

[0032] 图5为本发明实施例提供的晶振电路原理图;

[0033] 图6为本发明实施例提供的温度传感器电路原理图;

[0034] 图7为本发明实施例提供的运动传感器电路原理图;

[0035] 图8为本发明实施例提供的电源电路原理图;

[0036] 图9为本发明实施例提供的稳压电路原理图。

[0037] 符号说明:

[0038] 1-外壳,2-电池组,3-绝缘筒,4-铁芯,5-法兰,6-接收线圈,7-发射线圈,8-第一线圈挡块,9-第二线圈挡块,10-电路板,11-端盖,12-驱动电路,13-传感器。

具体实施方式

[0039] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0040] 本发明的目的是提供一种极低频电磁信号发射机,提高了电源利用效率和应用灵活性。

[0041] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0042] 术语解释:

[0043] 1) 油气长输管道:油气长输管道是指将油气通过地下、地表或者两者结合的管道输送到用户处的一种油气输送系统,油气长输管道是构成整个油气输送系统的主要部分。

[0044] 油气长输管道分为两类:一类用于传输原油和成品油,另一类用于传输天然气。

[0045] 2) 管道内运行设备(PIG):一般指清管器,也泛指运行于管道内的所有设备如各种检测器等。

[0046] 3) PIG卡堵与定位:在管道PIG(清管器)进行管道清洁的过程中,容易出现卡堵的现象,这样就容易导致管道PIG(清管器)停留位置难以确定。在PIG上安装有极低频(ELF)发射机,信号可以被管道外部的探测器检测到从而确定PIG所处的位置。

[0047] 4) 发射机:安装在PIG上的电磁波发射装置,采用电池供电,在电路控制下向空间发射电磁场信号。发射机内的电路施加励磁信号于发射线圈,线圈产生交变电磁场并向空间辐射。发射机工作在极低频,所用的天线尺寸远远小于波长,因此可以忽略电场辐射仅考

考虑磁场辐射,其辐射功率与发射线圈产生的磁场强度成正比,而磁场强度正比于励磁电流与线圈电感量的乘积。

[0048] 在螺线管型发射线圈内部加入软磁材料能够有效提高辐射磁场强度,提高磁场辐射功率,但同时也提高了发射线圈的电感量和感抗数值。

[0049] 5) 发射机的总效率(能效比):定义为发射机向空间辐射的总磁场强度与消耗的电功率之比。

[0050] 6) 极低频(ELF)和频点选择:电磁学上将3Hz至30Hz定义为极低频(ELF),工程实践表明,在PIG上安装的发射机器在22~23Hz的工作频率下穿透管壁和土壤的能力最强。

[0051] 7) 涡流效应:交变磁场在金属材料中会产生涡流效应,涡流效应产生的磁场会削弱原生的磁场。涡流效应产生了热量,降低了磁场的传输效率,因此应该尽量避免。通过采用高电阻率磁芯或者多层铁芯等方式,可以增大涡流流经路径的电阻,从而降低涡流的影响。

[0052] 8) 正弦脉冲宽度调制(Sine pulse width modulation,SPWM):SPWM法是一种比较成熟的、使用较广泛的PWM法。冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时,其效果基本相同。SPWM法就是以该结论为理论基础,用脉冲宽度按正弦规律变化而和正弦波等效的PWM波形即SPWM波形控制逆变电路中开关器件的通断,使其输出的脉冲电压的面积与所希望输出的正弦波在相应区间内的面积相等,通过改变调制波的频率和幅值则可调节逆变电路输出电压的频率和幅值。

[0053] SPWM变频调速技术广泛应用于交流电机调速控制,转换效率最高可达95%以上。

[0054] 9) H桥驱动:H桥是一种电子电路,可使其连接的负载或输出端两端电压反相/电流反向。这类电路可用于直流电动机的顺反向控制及转速控制、步进电机控制、电能变换中的大部分直流-交流变换器(如逆变器及变频器)、部分直流-直流变换器(推挽式变换器)等,以及其它的功率电子装置。

[0055] 10) 串联谐振:在电阻、电感及电容所组成的串联电路内,存在电阻R、容抗 X_C 和感抗 X_L ,其中R为环路中的纯电阻值,容抗 X_C 计算公式是:

$$[0056] \quad X_C = \frac{1}{\omega C};$$

[0057] 感抗 X_L 的计算公式是:

$$[0058] \quad X_L = \omega L;$$

[0059] 回路总阻抗Z的计算公式是:

$$[0060] \quad Z = R + jX = R + j(X_L - X_C);$$

[0061] 其中: $\omega = 2\pi f$ 为角频率,f表示频率,j表示虚数符号,R、L和C分别是电阻值、电感值和电容值。

[0062] 当 X_L 和 X_C 的绝对值相等时,电路呈现纯电阻性,这种现象叫串联谐振,此时电路呈现纯阻性,即:

$$[0063] \quad Z=R;$$

[0064] 这时电路中的电压U与电流I的相位相同,电路中总阻抗最小,电流将达到最大值。

[0065] 11) 模拟开关:模拟开关主要是完成信号链路中的信号切换功能。采用MOS管的开关方式实现了对信号链路关断或者打开;由于其功能类似于开关,而用模拟器件的特性实现,称为模拟开关。模拟开关在电子设备中主要起接通信号或断开信号的作用。模拟开关具有功耗低、速度快、无机械触点、体积小和使用寿命长等特点。

[0066] 12) 可调稳压电源:可调稳压电源的工作原理是通过控制稳压电路的输出电压来达到调节电源输出电压的目的。可以通过调节电路来控制稳压电路的调节元件(如稳压二极管、晶体管、操作放大器等)的工作点,从而调节输出电压大小。

[0067] 13) 数字调制方式:信号的数字调制方式有多种,以下是常见的几种调制方式。

[0068] 通断键控(On-Off Keying,OOK)。OOK的调制原理就是用来控制把一个幅度取为0,另一个幅度为非0,就是OOK。又名二进制振幅键控(2ASK),它是以单极性不归零码序列来控制正弦载波的开启与关闭。

[0069] 幅移键控(amplitude shift keying,ASK)。载波经过调制之后可以有4个幅度,分别为 $V_0=00$ 、 $V_1=01$ 、 $V_2=10$ 、 $V_3=11$,每一个幅度可以代表2个bit位。这样它的传输速率就是OOK的2倍。

[0070] 频移键控(Frequency shift keying,FSK)。通过改变载波的频率携带信息。

[0071] 相移键控(Phase Shift Keying,PSK)。通过改变载波的相位携带信息。

[0072] 14) 发射机的技术原理如下。

[0073] 安装于PIG的发射机管道内运行时,通过电路或者机械的方式产生交变的磁场,穿透管道壁和土壤传输到地面,被交流接收装置检测到。

[0074] 发射机首选22Hz~23Hz附近的频率,其他频率的磁场信号被钢制管道和土壤吸收后衰减较严重。由于发射机发射的磁场在地面处的磁场强度在nT量级,因此目前的检测装置多采用检测线圈作为传感器,该传感器只对交流信号敏感,因此直流磁场不能被交流接收机检测到。

[0075] 理想的发射机仅发射单一频率(如22Hz或23Hz)的正弦波信号,其发射效率为100%。如果信号中同时含有直流磁场和其他频率的磁场信号分量,其发射相率将低于100%。

[0076] 检测线圈的输出与空间磁通量的变化率成正比,在频率、距离、外形尺寸等条件一定的情况下,其输出大小取决于发射线圈产生的总磁通量。总磁通量等于线圈电感与激励电流的乘积。

[0077] 实施例1

[0078] 如图1所示,本发明提供了一种极低频电磁信号发射机,包括:单片机、磁场发射回路、接收线圈和铁芯;所述磁场发射回路包括串联谐振回路和驱动电路,所述串联谐振回路包括依次串联连接的发射线圈、电容网络、电阻网络和电流取样电阻,所述驱动电路分别与所述发射线圈和所述单片机连接,所述驱动电路用于产生SPWM波形驱动所述串联谐振回路。

[0079] 所述驱动电路为H桥驱动电路,所述驱动电路还可以由采用三极管、MOS管等分立元件构成的电路实现。

[0080] 所述H桥驱动电路用于产生SPWM波形,所述单片机用于调节所述SPWM波形的参数;所述SPWM波形的参数包括占空比。

[0081] H桥驱动电路和SPWM波形构成磁场发射驱动电路,H桥驱动电路的2个输入信号来

自于单片机的数字输出端口,H桥驱动电路输出信号连接到串联谐振回路的两端。单片机通过控制H桥驱动电路的2个输入信号,可以形成4种驱动状态,包括双向的驱动状态、待机状态和刹车状态。

[0082] 所述接收线圈与所述发射线圈均绕制在所述铁芯上,所述接收线圈与所述单片机连接;在所述磁场发射回路停止工作时间段(停止周期),所述接收线圈用于接收外部信号,所述单片机还用于从所述外部信号中识别外部控制信号,并在下一次(识别到外部控制信号后的)所述磁场发射回路的工作时间段(发射周期),控制所述磁场发射回路采用设定的信号调制方式发出响应信号;所述单片机还用于根据所述外部控制信号对所述SPWM波形的参数进行调节。

[0083] 一种极低频电磁信号发射机还包括第一多路模拟开关和第二多路模拟开关;所述第一多路模拟开关分别与所述电容网络和所述单片机连接,所述第二多路模拟开关分别与所述电阻网络和所述单片机连接。

[0084] 第一多路模拟开关和第二多路模拟开关还可以用其他开关类元件代替,如各种继电器、晶体管、场效应管等。第一多路模拟开关和第二多路模拟开关包含多个或者多组芯片以及开关接点。开关类型不限于单刀单掷类型,其他类型的开关通过合理地选择与开关接点连接的元件参数,能够实现更多样的元件参数组合。

[0085] 所述单片机还用于判断所述电流取样电阻的电流是否在设定范围内,若否,则通过所述第二多路模拟开关调节所述电阻网络的阻值。

[0086] 所述单片机还用于对采集到的所述电流取样电阻的电流和所述H桥驱动电路的输入信号进行相位比较,当出现相位偏移时,则通过所述第二多路模拟开关调节所述电阻网络的阻值。

[0087] 一种极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的温度传感器和运动传感器;所述温度传感器用于检测极低频电磁信号发射机所处的环境温度,所述运动传感器用于检测所述极低频电磁信号发射机的加速度。

[0088] 所述单片机用于采集所述环境温度和所述加速度,当所述环境温度大于第一阈值且所述加速度大于第二阈值时,通过所述H桥驱动电路启动所述磁场发射回路,否则控制所述磁场发射回路处于停止工作状态。

[0089] 第一阈值为磁场发射回路工作的环境温度阈值,也就是说,极低频电磁信号发射机所处的环境温度大于第一阈值时磁场发射回路才工作;第二阈值为磁场发射回路工作的加速度阈值,也就是说,极低频电磁信号发射机的加速度大于第二阈值时磁场发射回路才工作。若传输管道传输的是原油,则第一阈值为40℃,第二阈值为0.1g,g为重力加速度。

[0090] 将温度传感器和运动传感器的阈值相结合,可以减少非工作状态的电量消耗,另外还可以避免误通电带来的电量消耗(因为未达到管道内的工作条件,发射机仍保持待机状态)。

[0091] 温度传感器采用热敏电阻、热电偶、二极管等分立元件或者集成芯片,也可以采用其他功能芯片(如单片机、模拟数字转换器等)内部集成的测温元件。

[0092] 一种极低频电磁信号发射机还包括与所述单片机连接的参数存储器;所述参数存储器用于存储发射机的原始信息和工作参数,还可以存储一定的工作记录,所述工作参数包括工作电流和所述SPWM波形的参数,所述工作电流为通过所述电流取样电阻的电流。

[0093] 参数存储器采用静态电流接近于零($\leq 1\mu\text{A}$)的电可擦可编程只读存储器(Electrically Erasable Programmable read only memory,EEPROM)或者铁电存储器(Ferroelectric Random Access Memory,FRAM),也可以采用单片机内部的EERPOM或者FLASH存储器,容量从几十字节到几兆字节。

[0094] 所述SPWM波形的参数还包括频率和幅值。

[0095] 所述SPWM波形的占空比为0.5/1.5。

[0096] 一种极低频电磁信号发射机还包括模拟数字转换器,所述电流取样电阻和所述接收线圈均通过所述模拟数字转换器与所述单片机连接。

[0097] 发射线圈为圆筒状,中心为圆孔。圆孔外侧为软磁材料构成的圆筒状磁芯。在磁芯的外部均匀缠绕漆包线。根据发射机的机械规格参数确定电池组的尺寸和发射线圈的尺寸,再选择合适规格的漆包线绕制线圈。发射线圈具有直流电阻 R_{DC} , R_{DC} 随温度发生变化。

[0098] 接收线圈与发射线圈的位置关系采用内层外层布局或者采用前后布局的方式。

[0099] 电容网络由多个电容构成,每个电容受第一多路模拟开关的一个独立开关控制形成一个电容支路,多个支路之间是并联的关系。电容值可满足一定范围的调节要求,一般可采用1、2、4、8倍率的关系,通过组合使用,可形成1~15倍的电容量调节范围。

[0100] 电阻网络由多个电阻构成,每个电阻受第二多路模拟开关的一个独立开关控制形成一个电阻支路,多个支路之间是并联的关系。电阻值可满足一定范围的调节要求,一般可采用1、2、4、8倍率的关系,通过组合使用,可形成的0.53~8倍电阻量调节范围。

[0101] 电流取样电阻用于实时监控磁场发射回路的电流,为了不显著影响发射回路的工作状态,该电流取样电阻取为 $0.1\Omega\sim 1\Omega$ 。电流取样电阻的两端连接到模拟数字转换器(ADC),用于测量电阻的端电压,进而测量发射激励电流并进行调节。

[0102] 接收线圈由一个独立的多匝线圈构成,与发射线圈共同绕制在铁芯上。在发射线圈通电时,接收线圈的输出信号被忽略。在磁场发射回路停止工作期间,外部装置向发射机发出的磁场信号(外部信号)可被接收线圈接收到,并将输出信号传输到ADC中。ADC对模拟信号进行转换,并将结果数据发送到单片机中。单片机对以上数据进行分析,提取出其中包含的控制指令。一旦接收到控制指令(外部控制信号),发射机将根据指令要求,完成发射机参数配置或者通过发射线圈向外部装置反馈发射机信息。以上双向通讯的信号调制方式可以采用ASK、PSK、FSK和OOK等多种方式。

[0103] 通过接收线圈和发射线圈实现的双向通讯能够实现单片机的工作参数进行调整。

[0104] 单片机用于实现发射机的逻辑控制、波形生成、通讯、参数存储等功能。

[0105] 采用通用型单片机,具体选择是优先考虑低功耗型号。

[0106] 单片机外部有32.768kHz的晶振电路,用于对单片机内部的RC振荡电路频率进行校准。校准后可以生成精确的22Hz或者23Hz磁场辐射频率。晶振电路,采用32.768kHz的低频晶振,具有静态电流低的优势,有利于降低待机功耗。

[0107] 单片机通过数字控制端口连接到第一多路模拟开关内各个通道的控制引脚,能够切换谐振电容网络的总电容量。电容网络的各个电容与模拟开关的接点为串联模式。当某个通道的模拟开关接通时,与之串联的电容被接入,电容网络的总电容量将相应增加。

[0108] 单片机通过数字控制端口连接到第二多路模拟开关内各个通道的控制引脚,能够切换电阻网络的总电阻值。电阻网络的各个电阻与模拟开关的接点为并联模式。当某个

通道的模拟开关接通时,与之并联的电阻被短接,电阻网络的总电阻值将相应减小。

[0109] 模拟数字转换器将接收线圈输出的模拟信号转换为数字信号,供单片机进行处理和识别。

[0110] 一种极低频电磁信号发射机还包括电源电路,电源电路包括电池组、稳压电路,所述电池组分别与H桥驱动电路和所述稳压电路连接,所述稳压电路与所述单片机连接。

[0111] 作为具体实施方式,电池组采用单节或者多节电池串并联构成,为一种极低频电磁信号发射机中各电路供电。

[0112] 作为另一种具体实施方式,电池组采用一次性锂电池串联而成,锂电池相比于可充电电池具有较高的能量密度。电池组规格确定以后,可获得电池组的额定电压U和额定容量参数Q;电池组放置于发射机的轴心位置,因此电池组的外形尺寸也确定下来。

[0113] 电池组为磁场发射回路提供电源。为了与磁场发射回路的参数匹配,需要动态调节SPWM波形输出的占空比以实现功率的稳定和效率的最大。

[0114] 稳压电路输出3.3V电压,3.3V电压为数字电路和模拟电路提供电源。

[0115] 为了提高电源利用效率,3.3V稳压源通常采用开关稳压方案。

[0116] 稳压电路部分采用3.3V开关稳压芯片,转换效率一般在90%以上。除了H桥驱动电路以外的其他电路部分均采用3.3V电源供电。

[0117] 按照发射机连续工作时间t的要求,根据电池组额定容量计算平均工作电流 $I_{\text{平均}}=Q/t$ 。为了降低功耗,磁场发射回路以间歇方式工作,发射周期和停止周期均设定为励磁周期的整数倍。假设发射机工作时间占比为 K_d ,则理论发射电流应为: $I_{\text{发射}}=I_{\text{平均}}/K_d$,由于其他电路还要消耗一部分功率,因此实际的发射电流需要取小一些(一般取理论计算值的80%)。再计算发射线圈的直流电阻: $R_{\text{DC}}=U/I_{\text{发射}}$ 。

[0118] 按照工作介质温度的上限值(如60℃),计算出此时对应的上限电阻值 R_{DCH} 。

[0119] 在电池组外有绝缘套筒,厚度一般为0.5mm~1mm;绝缘套筒上有软磁铁芯,厚度2mm~4mm;软磁铁芯缠绕绝缘膜隔离,厚度0.1mm~0.2mm;以上构成了线圈骨架。在线圈骨架上绕制发射线圈和接收线圈。

[0120] 接下来根据上述的 R_{DCH} 结合发射线圈尺寸限制情况计算线圈参数,获得绕制线圈的导线规格和匝数,并可通过经验公式或者仿真的方式计算出电感量。

[0121] 接收线圈选择尽量细的导线绕制以便绕制更多的匝数,可以提高接收灵敏度。

[0122] 铁芯还可以采用其他软磁材质,如坡莫合金、硅钢、铁氧体等,构成形式可以采用轴向叠片式、圆筒卷绕式或者圆筒状轴向开槽的形式。

[0123] 本发明采用单发射线圈+H桥驱动的方案,相比双线圈正反激励方式线圈的空间利用率提高一倍,可绕制更多匝数,提供更高的磁场辐射能力。采用SPWM波形驱动,发射磁场波形为近似正弦波,发射的信号中最大限度降低了其他无效频率分量值,提高了电源利用效率(能效比)。

[0124] 发射线圈谐振参数计算:发射线圈绕制以后,通过LCR表测量在22Hz下的电感量和常温下直流电阻值。将测量结果与理论值作比对,再对导线规格进行微调取得理想值。

[0125] 根据发射线圈的电感值L和电容网络的电容值C,通过如下公式可以算出改谐振回路的谐振频率f:

$$[0126] \quad f = 1 / (2\pi\sqrt{LC}).$$

[0127] 其中,回路中线圈的感抗为 ωL ,回路中电容网络的容抗 $1/\omega C$ 。

[0128] 串联谐振时,发射线圈的感抗与电容网络的容抗相互抵消,其矢量和为零,回路阻抗最小,回路阻抗 $Z=R$ =线圈直流电阻 R_{DC} +电阻网络 R_N ,电路呈现纯阻性,回路电流最大。

[0129] 通过调节电容网络的电容值大小,可以使得磁场发射回路在预设的频率点发生串联谐振,此时发射电流最大,磁场辐射最强。电容网络通过第一多路模拟开关调节。第一多路模拟开关有多个独立的单通道开关构成,每个通道对应连接一个电容。通过多个通道的组合,可以组合出多种电容数值。

[0130] 一旦发射线圈绕制完成,其电感量基本恒定,通过以上的谐振频率计算公式可以计算出对应的谐振电容值。由于电容器的初始精度较低,且温度特性较差,因此容易出现谐振频率点偏移的情况。电路中根据理论计算值选取一组电容,通过模拟开关进行组合,可以最大限度地接近于理论值,从而保证谐振频率点的稳定。

[0131] 通过调节电阻网络的电阻值大小,能够改变回路的总直流电阻,进而达到调节发射电流和磁场辐射强度的目的。

[0132] 发射线圈若采用漆包铜线绕制,具有约 $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 的正温度系数。当温度从常温 20°C 变化到 60°C 时,电阻值将增大约 16% ,这将导致发射回路中线圈的直流电阻值和发射线圈回路总阻抗值增大,同时发射励磁电流和磁场辐射强度相应降低。通过动态调节电阻网络的电阻值大小对以上的铜线电阻变化进行补偿,可以实现发射电流和磁场辐射强度恒定。

[0133] 发射线圈电路的具体驱动控制如下:

[0134] 发射线圈电路由H桥驱动电路产生的SPWM波形驱动,单片机控制SPWM波形的频率、幅度和占空比等参数。

[0135] SPWM波形的生成由单片机的定时器实现。首先确定励磁电流的频率 f_0 (如 22Hz),再根据波形调制系数 M ,获得SPWM波形的调制频率 $f_M=Mf_0$, M 取值宜在 $32\sim 128$ 之间,一方面有利于限制高频谐波分量占比,另外可保证定时器定时精度。在程序的初始化阶段,计算出每个调制频率的周期所对应的占空比系数 D_n ($n=1\sim M$),并保存在数组中;另外设定定时器的溢出周期等于调制周期。程序运行后,启动定时器的溢出中断和比较匹配。定时器的溢出中断对应每个调制周期的起始,在溢出中断服务程序中开启驱动电流,并设定比较匹配值为当前的占空比值 D_n ($n=1\sim M$);经过一段时间后,定时器计数值等于占空比值 D_n 并产生比较匹配,在比较匹配中断服务程序中关闭驱动电流。重复以上过程,直到一个励磁电流周期结束,然后设定 $n=1$ 重新开始一个新的励磁控制周期。

[0136] 常规计算的占空比值对应的激励电压最大值为电源电压或电池组电压,为了实现发射励磁电流的调节,可以采用SPWM调节的方式。具体方法是:对调制频率波形的每一个占空比系数乘以功率系数 K_p ($0 < K_p < 1$),得到新的系数($K_p D_n$),使用该系数可以将励磁电流调节为最大电流的 K_p 倍。

[0137] 如图2所示,一种极低频电磁信号发射机还包括外壳、绝缘筒、第一线圈挡块、第二线圈挡块、端盖和电路板,所述外壳和所述端盖通过螺纹连接,根据工作压力和密封的要求,所述外壳和所述端盖之间可安装密封圈,所述外壳外侧焊接有圆片状安装法兰,方便将极低频电磁信号发射机安装到其他设备上。

[0138] 所述绝缘筒、所述发射线圈、所述接收线圈、所述第一线圈挡块、所述第二线圈挡块、传感器(包括温度传感器和运动传感器)和所述电路板位于所述外壳和所述端盖构成的腔体内,所述电池组位于所述绝缘筒内,所述绝缘筒位于圆筒状的所述铁芯内,所述电路板位于所述端盖内,所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块位于所述铁芯的两端,所述接收线圈和所述发射线圈限位于所述第一线圈挡块和所述第二线圈挡块之间,所述接收线圈和所述发射线圈均与所述电路板连接。铁芯外边面缠绕绝缘膜或者绝缘胶带,之后缠绕发射线圈和接收线圈。

[0139] 外壳采用非导磁材料,如各种金属(如304不锈钢)和塑料等,塑料包括聚醚醚酮(PEEK)、聚甲醛(POM)和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)等。

[0140] 外壳形状包括圆筒状、长方体和正方体。

[0141] 作为具体实施方式,外壳和端盖采用304不锈钢材料,磁导率接近于1,不会对磁场辐射产生明显影响。绝缘筒、第一线圈挡块和第二线圈挡块采用塑料材质。

[0142] 电路板上安装有除了所述发射线圈和所述接收线圈以外的电子硬件电路。

[0143] 本发明通过可调参数的电容网络,可以补偿发射线圈回路中的感抗,使回路处于近似串联谐振的状态,相同线圈下发射电流接近于理论最大值,提高了空间的利用率和电源利用效率。

[0144] 本发明通过可调参数的电阻网络,可以在温度变化导致的发射线圈电阻变化的情况下给以补偿,保持发射功率的稳定。

[0145] 本发明通过接收线圈,能够与外部控制装置进行双向通讯。

[0146] 本发明通过温度传感器,能够检测环境温度,对工作参数进行补偿。

[0147] 本发明通过运动传感器,能够检测并判断发射机所处的状态,并对其工作模式进行控制。

[0148] 本发明一种极低频电磁信号发射机的电路硬件如下。图4-图9构成了一种极低频电磁信号发射机的电路原理图。

[0149] 如图8所示,电源电路中,BT1为电池组;电池组采用ER14505M功率型锂电池3节,额定电压10.8V,额定容量2200mAh。

[0150] 稳压电路如图9所示,UP1为稳压芯片,型号为TPS54302,通过外部电阻R8和电阻R7设定输出电压为 $V_{CC}=3.3V$ 。电阻R5和电阻R6构成分压电路,分压值 V_{PEN} 的电压值约为2.7V,接到稳压芯片的5脚使能端上。电源电路中的其他元件CA1、C7、C9均为滤波电容,C8为开关电容,L3为10 μ H电感。电池组BT1、滤波电容CA1和滤波电容C7并联,滤波电容C7两端串联电阻R5和电阻R6,电阻R5和电阻R6之间为分压值 V_{PEN} 。电池组BT1的电压值为VBAT。

[0151] 单片机U1为32位ARM内核单片机,如图4所示,单片机U1型号为AT32F403ACGT7,最高工作频率为200MHz。使用了电源引脚、晶振引脚和部分通用输入输出(GPIO)引脚。晶振Y1为32.768kHz低频晶振,C5和C6为其负载电容,晶振电路的两端接到单片机的OSC32A和OSC32B引脚上。

[0152] 如图3所示,H桥驱动电路U2的型号为DRV8870,输出端引脚8和引脚6连接到磁场激励回路,引脚2和引脚3为驱动控制端,接单片机的GPIO上。引脚5为驱动电源输入,接电池组正电压VBAT。

[0153] 电容网络包含电容C1~电容C4和第一多路模拟开关U3。电容C1~电容C4如图3所示,

分别22 μ F、10 μ F、4.7 μ F和2.2 μ F,均为X7R材质电容,具有较小的温度系数。第一多路模拟开关U3的型号为TS3A4751,内部为4路独立的单刀单掷(SPST)模拟开关。每路开关均包含一个控制端IN_x和两个开关端COM_x和NO_x,x取值1至4。4路开关的COM端连接在一起,另外一端分别接到电容C1~电容C4上。通过输入信号CSEL1~CSEL4分别控制各个开关的通断,可独立控制电容的接入,电容的容量调节范围最小值为2.2 μ F,最大值为38.9 μ F。电容C1~电容C4的取值要依据线圈电感值,保证电容网络容量调节范围能够有效补偿发射线圈回路中的感抗,使回路处于近似串联谐振的状态。

[0154] 电阻网络包含电阻R1~R4和第二多路模拟开关U4。电阻R1~R4如图3所示,分别100 Ω 、51 Ω 、25 Ω 和12 Ω ,均为精度优于1%的电阻,温度系数 ≤ 50 ppm。第二多路模拟开关U4的型号为TS3A4751,内部为4路独立的单刀单掷(SPST)模拟开关。每路开关均包含一个控制端IN_x和两个开关端COM_x和NO_x。4路开关的COM端连接在一起,另外一端分别接到电阻R1~电阻R4上。通过输入信号RSEL1~RSEL4分别控制各个开关的通断,可独立控制电阻的接入,电阻的阻值调节范围最小值约为6.3 Ω ,最大值为100 Ω 。电阻网络除了选择无源电阻元件外,还可以使用数字电位器。数字电位器内部包含集成的电阻网络和可编程开关,通过数字电位器的控制接口可以改变其阻值,也能达到电阻可变的效果。各个电阻也可以采用串联的形式,同样可以达到调节的效果。电阻R1~电阻R4的取值要依据线圈直流电阻值和发射机的工作电流情况,保证电阻网络电阻值调节范围可以有效补偿发射线圈回路中的电阻值温度变化,使回路励磁电流保持稳定并满足预定的连续工作时间。

[0155] 如图3所示,发射线圈L1、电容网络、电阻网络、电流采样电阻R_{sen}串联后构成发射线圈谐振回路(串联谐振回路)。

[0156] ADC电路中的U5为16位双通道模拟数字转换器(ADC),型号为ADS1112。双通道转换器U5的模拟信号输入端AIN0和AIN1分别接在电流采样电阻R_{sen}的两端,用于测量发射回路电流;双通道转换器U5的模拟信号输入端AIN2和AIN3分别接在接收线圈L2的两端,用于检测通讯信号。

[0157] 如图6所示,温度传感器U6型号为TMP100,用于测量系统温度,采用I2C总线通讯,温度采集结果可以用于系统功能控制以及温度补偿。

[0158] 如图7所示,运动传感器U7的型号为ADXL345,用于测量加速度和运动情况,采用I2C总线通讯,U7的引脚8具有中断输出功能,可以在低功耗状态下检测运动的发生,并通过该引脚唤醒单片机和系统。

[0159] 参数存储器的芯片型号为BL24C16F,是2k字节容量的EEPROM芯片,用于存储系统参数和工作参数。

[0160] 本发明一种极低频电磁信号发射机的工作流程如下。

[0161] 上电以后,单片机读取参数存储器的内容,配置工作参数,完成单片机内部资源和外围器件的初始化。

[0162] 通过外部的32.768kHz晶振信号,对单片机内部的RC振荡时钟信号进行校准。

[0163] 单片机定时读取温度传感器和运动传感器的数据,根据当前的工作参数设置与传感器数据通过第一多路模拟开关和第二多路模拟开关调节谐振电容网络和电阻网络,使其满足预设的发射功率设定。

[0164] 将温度传感器和运动传感器的数据与设定的启动阈值进行比较,符合工作条件

后,启动发射功能。

[0165] 根据设定的工作周期,在发射机的工作时间段,由单片机内部的定时器进行波形的定时,在数字端口输出信号控制H桥驱动器对包含发射线圈的串联谐振回路进行激励,磁场辐射有效;在发射机的停止时间段,在数字端口输出待机信号,H桥停止工作,发射线圈无激励电流,磁场辐射停止。以励磁频率22Hz为例,取1.5秒为周期,工作周期为0.5秒对应11个励磁周期,停止时间为1秒对应22个励磁周期,发射回路的占空比为 $0.5/1.5=33.3\%$ 。采用以上处理,电池工作时间相应延长到3倍。

[0166] 通过磁场发射回路的电流采样电阻监控发射电流数值,并通过第二多路模拟开关调节电阻网络的阻值,实现一定范围内的发射电流调节,可以满足不同工况的需要。另外,由于管道内介质温度变化导致发射线圈的直流电阻变化,也可以通过电阻网络进行补偿。

[0167] 单片机对采集到的电流信号的相位与激励信号的相位进行比较,当出现相位偏移的情况,表明此时串联谐振回路含有电抗分量($X \neq 0$),通过第二多路模拟开关调节电容网络,改变串联谐振回路的接入电容值,降低谐振回路的电抗分量,使串联谐振回路趋近于纯阻性状态。

[0168] 在通讯过程中,首先由外部装置检测发射机的发射信号状态。在发射机的发射信号停止时间段,外部装置向发射机发射控制信号,可被发射机内的检测线圈接收,并通过ADC转换为数字信号输入到单片机中,单片机根据预设的信号解调方式识别外部控制信号,并在下一次发射阶段通过特定的信号调制方式给以响应,该信号被外部的装置接收,以上构成一次完整的双向通讯过程。

[0169] 本发明达到的技术效果如下:

[0170] 1、电源效率高且稳定:本发明采用低阻抗H桥驱动和SPWM波,输出正弦波激励信号,发射线圈为单线绕制,结构简单;磁场激励信号中交流基频分量占绝大部分,直流分量和谐波分量微弱,发射机电源效率高。

[0171] 2、工作参数实时自动调节:本发明实时对电池电压、环境温度、发射电流、发射频率进行监测,并根据以上数据自动调节电路参数,使得辐射磁场强度保持恒定。包括以下几个方面:1)串联谐振参数调节:调节谐振电容参数(多路模拟开关切换谐振电容接入),适应不同管道(管道参数影响电感量进而改变谐振频率,影响效率)。2)发射功率调节:调节SPWM波形的占空比系数可实现激励电流调节,进而改变发射功率,可提高电源利用率;3)温度补偿:基于不同温度下的铜线的电阻率变化,对工作电流进行补偿。4)动态调节:对激励电流进行监控并进行闭环调节,通过多周期平均的方式实现平均功率与目标值一致。

[0172] 3、双向通讯功能:本发明能够与外部装置进行半双工双向通讯,可以接收外部指令配置工作参数,能够上传发射机状态。通过设定工作参数,发射机可满足不同的管道工况要求,实现一机多用。

[0173] 4、发射机状态实时监测:在发射极上安装有温度传感器和运动传感器,根据温度和加速度的情况,判定发射机的位置和状态,控制电源启动。未达到设定的工作阈值时,电源自动关断,避免误动作。

[0174] 发生卡堵时,根据电池剩余电量和运动传感器的检测数据,实时调节发射机的工作参数实现节能效果,避免电池电量的过早耗尽。

[0175] 综上,本发明提出的一种极低频电磁信号发射机,具有高效率的发射电路结构,提

高了发射机能效比,延长了连续工作时间;通过对工作参数自动调节能够保证辐射磁场强度的稳定;通过工作条件检测可保证信号发射的稳定型和连续性;通过双向通讯对发射机进行参数配置能够提高发射机的适用性并可获取发射机状态。

[0176] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0177] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

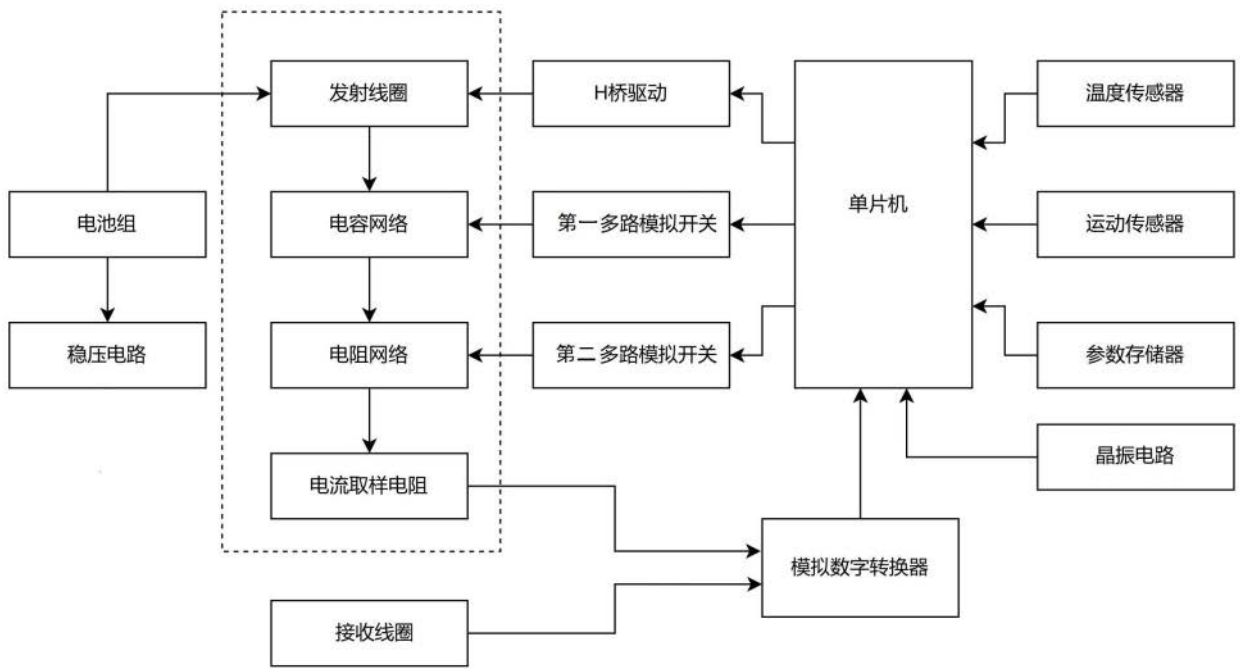


图 1

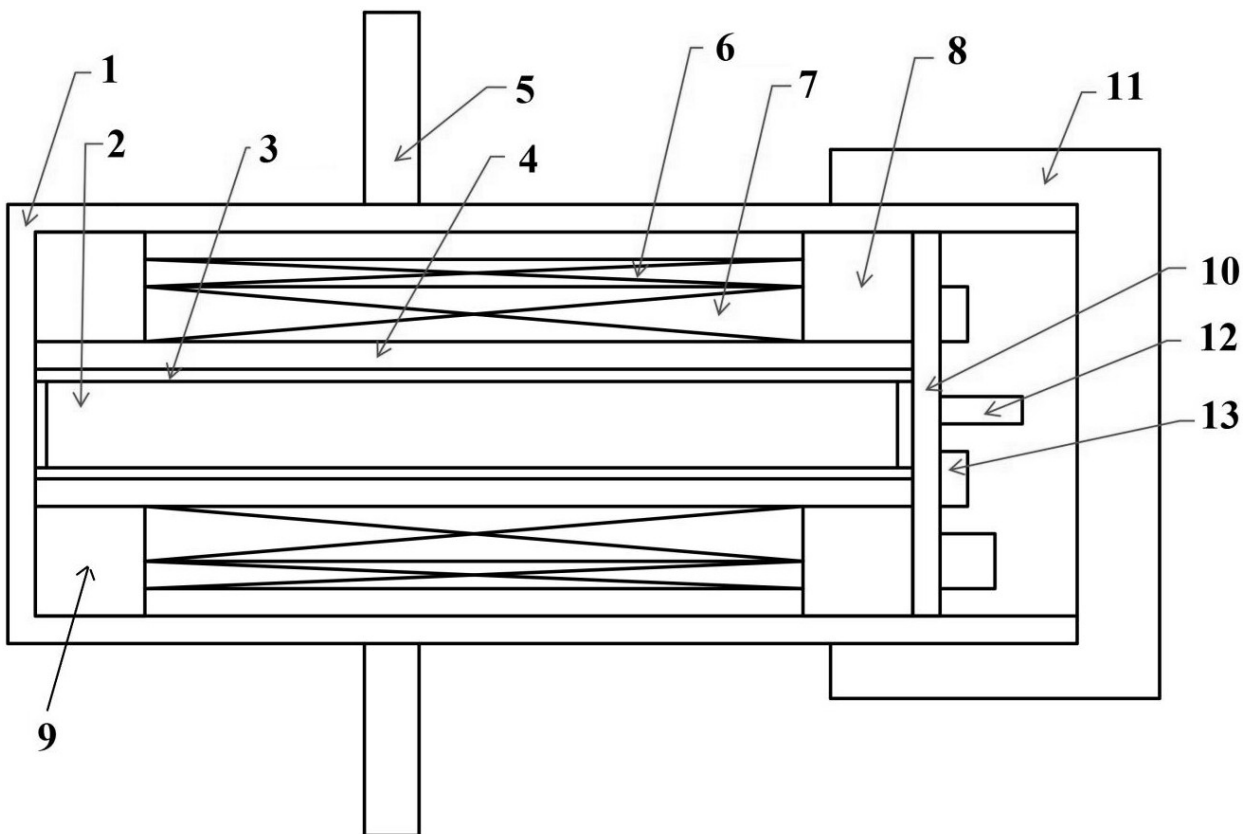


图 2

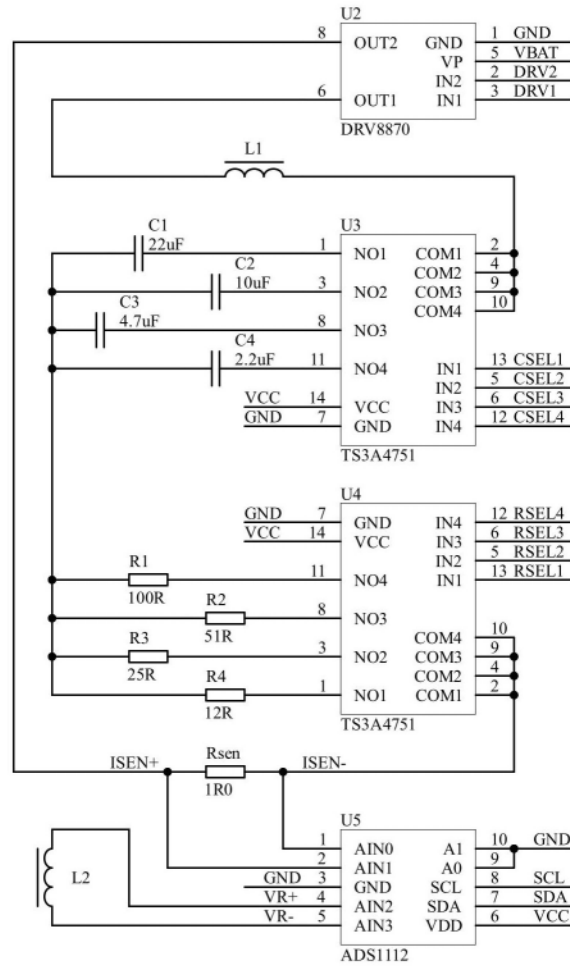


图 3

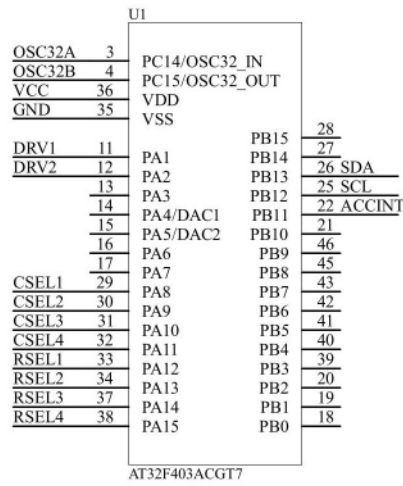


图 4

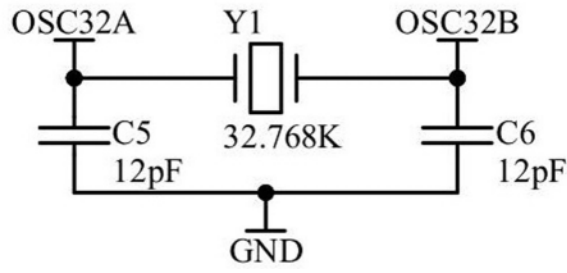


图 5

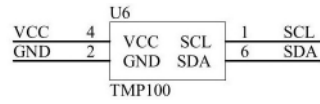


图 6

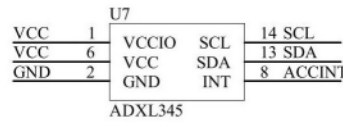


图 7

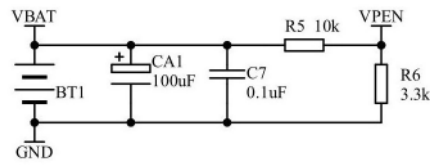


图 8

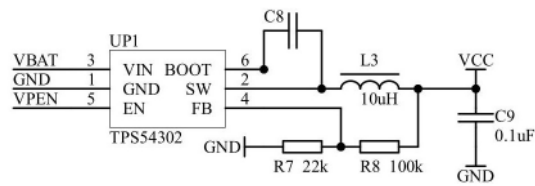


图 9