(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 109030907 A
(43)申请公布日 2018.12.18

(21)申请号 201710436006.7

(22)申请日 2017.06.09

(71)申请人 北京普源精电科技有限公司
地址 102206 北京市昌平区沙河镇踩河村156号

(72)发明人 张宁强 王悦 王铁军 李维森

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 贾磊 汤在彦

(51)Int.Cl.
G01R 19/00(2006.01)
G01R 15/20(2006.01)
G01R 35/00(2006.01)
G01R 1/30(2006.01)

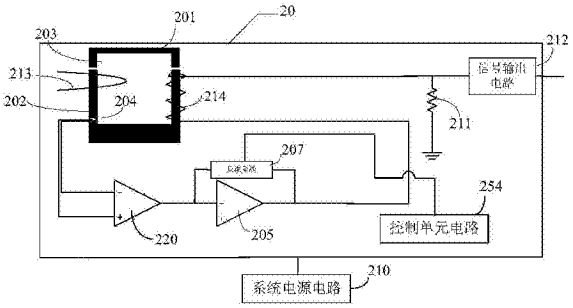
权利要求书4页 说明书13页 附图12页

(54)发明名称

一种电流探头及其控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种电流探头及其控制方法，涉及电流测量技术领域。通过控制单元电路可以控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准；通过控制单元电路控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制；通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节；通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制；通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节。本发明可以解决电流探头的在生产完成后的各性能指标的检测和校准过程存在繁琐复杂的问题。



CN 109030907 A

1.一种电流探头，其特征在于，包括由上磁芯和下磁芯组成的闭合磁芯、霍尔传感器、差分放大器电路、运算放大器电路、反馈系统电路、第一并联端接电阻、信号输出电路和控制单元电路；

所述霍尔传感器嵌入所述下磁芯的一边，且所述下磁芯和上磁芯组成的磁头中穿过有被测导线；所述霍尔传感器的两个输出端分别连接差分放大器电路的同相输入端和反相输入端；所述差分放大器电路的输出端连接至所述运算放大器电路的反相输入端；所述反馈系统电路连接于所述运算放大器电路的反相输入端和输出端之间；所述下磁芯绕有被测导线的一边的对边绕有次级绕组线圈，所述次级绕组线圈的一端连接所述运算放大器电路的输出端，所述次级绕组线圈的另一端连接所述第一并联端接电阻的一端和信号输出电路；所述第一并联端接电阻的另一端接地；

所述控制单元电路连接所述反馈系统电路，以进行电流探头的自动频响校准。

2.根据权利要求1所述的电流探头，其特征在于，所述电流探头还包括功率放大器电路和直流校准信号产生电路；所述功率放大器电路的反相输入端与所述运算放大器电路的输出端连接，所述功率放大器电路的输出端与所述次级绕组线圈的一端连接；所述直流校准信号产生电路与所述功率放大器电路的同相输入端或者运算放大器电路的同相输入端连接；

所述控制单元电路还连接所述直流校准信号产生电路，以进行电流探头的直流偏移调节。

3.根据权利要求2所述的电流探头，其特征在于，所述电流探头还包括消磁信号产生电路；所述消磁信号产生电路与所述功率放大器电路的同相输入端或者运算放大器电路的同相输入端连接；

所述控制单元电路还连接所述消磁信号产生电路，以进行电流探头消磁控制。

4.根据权利要求2所述的电流探头，其特征在于，所述信号输出电路包括一输出级运算放大器电路；所述次级绕组线圈的另一端连接所述第一并联端接电阻的一端和所述输出级运算放大器电路的输入端；所述输出级运算放大器电路的输出端作为所述电流探头的测量输出端。

5.根据权利要求3所述的电流探头，其特征在于，所述霍尔传感器具有第一输入端、第二输入端、第一输出端和第二输出端；所述第一输入端和第二输入端连接所述系统电源电路的供电输出端；

所述第一输出端连接所述差分放大器电路的同相输入端，所述第二输出端连接所述差分放大器电路的反相输入端；所述差分放大器电路的输出端与所述运算放大器电路的反相输入端之间还设置有RC滤波电路；所述差分放大器电路的输出端连接RC滤波电路的输入端，RC滤波电路的输出端连接运算放大器电路的反相输入端。

6.根据权利要求5所述的电流探头，其特征在于，所述信号输出电路包括串联端接电阻、传输线缆、滤波器电路、输出阻抗匹配电路和高频连接器；

所述串联端接电阻的一端与所述次级绕组线圈的另一端连接；所述串联端接电阻的另一端依次连接所述传输线缆、滤波器电路及高频连接器；所述滤波器电路与所述高频连接器的连接处连接所述输出阻抗匹配电路的一端，所述输出阻抗匹配电路的另一端接地；所述高频连接器用于与示波器的模拟前端连接；

所述控制单元电路还分别与所述滤波器电路和输出阻抗匹配电路连接，以分别进行电流探头的带宽控制和电流探头的直流精度调节。

7.根据权利要求6所述的电流探头，其特征在于，所述差分放大器电路包括一差分放大器芯片；所述差分放大器芯片包括反相输入端IN－、同相输入端IN+、第一电阻连接端Rg1、第二电阻连接端Rg2、电源正极连接端Vs+、电源负极连接端Vs-、输出端Vout和参考电压连接端REF；

所述霍尔传感器的第一输出端连接所述反相输入端IN-；所述霍尔传感器的第二输出端连接所述同相输入端IN+；

所述第一电阻连接端Rg1和第二电阻连接端Rg2通过一第一电阻连接；

所述电源正极连接端Vs+加载有正12伏电压；所述电源负极连接端Vs-加载有负12伏电压；

所述参考电压连接端REF接地；

所述输出端Vout连接所述RC滤波电路的输入端。

8.根据权利要求7所述的电流探头，其特征在于，所述反馈系统电路包括一第一数字可调电位器；所述第一数字可调电位器包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线端SDA以及时钟连接线端SCL；

所述接地端GND接地；所述工作电压连接端VDD加载有正5伏电压；所述双向数据连接线端SDA和时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端连接；所述第一引脚连接端A1和第五引脚连接端W1相连接；所述第二引脚连接端A2连接一第二电阻后加载有正12伏电压；所述第四引脚连接端B2连接一第三电阻后加载有负12伏电压。

9.根据权利要求8所述的电流探头，其特征在于，所述运算放大器电路包括：运算放大器、第四电阻、第五电阻、第六电阻以及第一电容；

所述运算放大器加载有正12V电压和负12V电压；所述运算放大器的反相输入端通过所述第四电阻与所述RC滤波电路的输出端连接；所述运算放大器的同相输入端分别连接所述第五电阻的一端和第六电阻的一端；所述第五电阻的另一端作为所述运算放大器电路的同相输入端；所述第六电阻的另一端接地；所述运算放大器的输出端与运算放大器的反相输入端连接所述第一电容的两端；所述运算放大器的输出端还连接所述第一数字可调电位器的第三引脚连接端B1；所述运算放大器的反相输入端还连接所述第一数字可调电位器的第一引脚连接端A1。

10.根据权利要求9所述的电流探头，其特征在于，所述功率放大器电路包括：功率放大器、第七电阻、第八电阻、第九电阻以及第十电阻；

所述功率放大器加载有正12V电压和负12V电压；所述功率放大器的反相输入端通过所述第八电阻与所述运算放大器的输出端连接；所述功率放大器的同相输入端分别连接所述第九电阻的一端和第十电阻的一端；所述第九电阻的另一端作为所述功率放大器电路的同相输入端；所述第十电阻的另一端接地；所述功率放大器的输出端与功率放大器的反相输入端连接所述第七电阻的两端；所述功率放大器的输出端还连接所述次级绕组线圈的一端。

11.根据权利要求10所述的电流探头，其特征在于，所述直流校准信号产生电路包括：直流校准运算放大器、第十一电阻、第十二电阻以及第二电容；

所述直流校准运算放大器加载有正12V电压和负12V电压；所述直流校准运算放大器的反相输入端通过所述第十一电阻与所述第一数字可调电位器的第六引脚连接端W2连接；所述直流校准运算放大器的同相输入端通过所述第十二电阻与所述直流校准运算放大器的输出端连接；所述直流校准运算放大器的输出端还通过所述第二电容接地；所述直流校准运算放大器的输出端作为所述直流校准信号产生电路的输出端。

12.根据权利要求11所述的电流探头，其特征在于，所述消磁信号产生电路包括：消磁运算放大器、第十三电阻、第十四电阻、第十五电阻、第十六电阻、第三电容、第四电容以及第五电容；

所述消磁运算放大器加载有正12V电压和负12V电压；所述消磁运算放大器的反相输入端通过所述第十四电阻接地；所述消磁运算放大器的同相输入端通过第四电容和第十五电阻组成的并联电路后接地；所述消磁运算放大器的同相输入端还通过所述第五电容和第十六电阻组成的串联电路后连接所述消磁运算放大器的输出端；所述消磁运算放大器的输出端与所述控制单元电路的消磁控制信号输出端连接；所述消磁运算放大器的输出端还通过所述第三电容和第十三电阻组成的并联电路后接地；所述消磁运算放大器的输出端作为所述消磁信号产生电路的输出端。

13.根据权利要求12所述的电流探头，其特征在于，所述滤波器电路为5阶巴特沃斯低通滤波器电路；所述5阶巴特沃斯低通滤波器电路包括：数字可调电容器、第一电感、第二电感、第六电容、第七电容、第八电容以及第九电容；所述数字可调电容器包括使能信号连接端SEN、第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4、时钟信号连接端SCLK、电压连接端VDD、第一电容器端口RF-1、第二电容器端口RF-2、第三电容器端口RF+1、第四电容器端口RF+2和双向数据连接端SDAT；

所述第一电感的一端连接所述传输线缆，所述第一电感的另一端连接所述第二电感的一端，所述第二电感的另一端与所述输出阻抗匹配电路连接；所述第六电容的一端连接于所述第一电感与所述传输线缆的连接处；所述第七电容的一端和第八电容的一端连接于所述第一电感与所述第二电感的连接处；所述第九电容的一端连接于所述第二电感与所述输出阻抗匹配电路的连接处；所述第六电容的另一端、第七电容的另一端和第九电容的另一端均接地；所述第八电容的另一端连接所述第三电容器端口RF+1和第四电容器端口RF+2；所述第六电容的另一端、第七电容的另一端和第九电容的另一端还连接第一电容器端口RF-1和第二电容器端口RF-2；

所述第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4分别接地；所述电压连接端VDD加载有正3.3伏电压；所述使能信号连接端SEN连接所述控制单元电路的使能信号输出端；所述时钟信号连接端SCLK连接所述控制单元电路的时钟信号输出端；所述双向数据连接端SDAT连接所述控制单元电路的双向数据输出端。

14.根据权利要求13所述的电流探头，其特征在于，所述输出阻抗匹配电路包括第二数字可调电位器、第十七电阻、第十八电阻、第十九电阻和第二十电阻；所述第二数字可调电位器包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线

端SDA以及时钟连接线端SCL；

所述第十七电阻的一端、第十八电阻的一端、第十九电阻的一端和第二十电阻的一端均分别连接5阶巴特沃斯低通滤波器电路和高频连接器；所述第十七电阻的另一端、第十八电阻的另一端和第十九电阻的另一端均接地；所述第二十电阻的另一端连接第二数字可调电位器的第四引脚连接端B2；

所述第二数字可调电位器的第二引脚连接端A2、第六引脚连接端W2和接地端GND接地；所述第二数字可调电位器的工作电压连接端VDD加载有正3.3伏电压；所述第二数字可调电位器的双向数据连接线端SDA和时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端连接。

15.一种电流探头的控制方法，其特征在于，应用于权利要求14所述的电流探头；所述方法包括：

通过控制单元电路控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准；

通过控制单元电路控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制；

通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节；

通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制；

通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节。

16.根据权利要求15所述的电流探头的控制方法，其特征在于，所述通过控制单元电路控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准，包括：

通过控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端调节第一数字可调电位器的阻值，进行电流探头的自动频响校准。

17.根据权利要求15所述的电流探头的控制方法，其特征在于，通过控制单元电路控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制，包括：

通过控制单元电路的消磁控制信号输出端产生消磁控制信号，使得第三电容进行充放电，在消磁信号产生电路的输出端产生幅度值逐渐减小的正弦信号，进行电流探头消磁控制。

18.根据权利要求15所述的电流探头的控制方法，其特征在于，通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节，包括：

通过控制单元电路调节第一数字可调电位器，改变直流校准信号产生电路输出的直流信号，进行电流探头的直流偏移调节。

19.根据权利要求15所述的电流探头的控制方法，其特征在于，通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制，包括：

通过控制单元电路控制调节数字可调电容器的电容值，进行电流探头的带宽控制。

20.根据权利要求15所述的电流探头的控制方法，其特征在于，通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节，包括：

通过控制单元电路控制调节第二数字可调电位器的阻值，进行电流探头的直流精度调节。

一种电流探头及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电流测量技术领域，尤其涉及一种电流探头及其控制方法。

背景技术

[0002] 当前，随着电子技术的发展，电流探头的应用已经十分广泛。电流探头的基本原理是流经导线的电流会在其导线周围产生磁场，通过传感器对磁场进行接收，转化成线性电压量。该线性电压量可以在示波器或其它测量仪器上进行显示和测量，从而达到对导线中的电流进行测量的目的。目前通过电流探头来进行导线电流测量的方式可以广泛应用于测量马达驱动、开关电源、功率逆变器/转换器、LCD显示器(Liquid Crystal Display，液晶显示器)、电子镇流器、放大器的稳态或瞬时电流、交通运输系统、移动通信、工业/消费电子产品和半导体设备等。

[0003] 现有技术的电流探头的简单原理框图如图1所示。现有技术的电流探头采用了变压器原理以及霍尔效应原理，通过该电流探头能够测量下至DC(直流电，Direct Current)的低频电流信号，以及高至高频电流信号。该电流探头由上磁芯101和下磁芯102组成闭合磁芯103。该电流探头还包括夹在下磁芯102截面上的霍尔传感器105，另外还包括信号放大器106、单刀双掷开关112、功率放大器111、反馈系统103、绕在下磁芯103上的线圈107、端接电阻109以及信号输出级运算放大器108。通过系统电源110给霍尔传感器105一个偏置电压，从而给霍尔传感器105感应部位加上磁通量，霍尔传感器105即可输出与其线性相关的霍尔电压参量。信号放大器106采集霍尔传感器105输出的霍尔电压参量。并通过单刀双掷开关112将信号放大器106输出的信号耦合到功率放大器111中，电流探头的磁头消磁信号也是通过单刀双掷开关112耦合到功率放大器111中，通过功率放大器111将信号放大后传输到线圈107，线圈107作为闭合磁芯103形成的变压器的次级绕组，而初级绕组就是被测导线104。线圈107的另一端接端接电阻109，同时接输出级运算放大器108，作为输出级。由于被测导体104周围会产生磁场，高磁导率的闭合磁芯103会将磁通束缚在磁芯中。当磁通垂直穿过被嵌在磁芯中的霍尔传感器105时，霍尔传感器105会输出霍尔电压参量，该霍尔电压参量被以差分的形式输入给信号放大器106，再通过单刀双掷开关112连通到功率放大器111。单刀双掷的开关112也可以选择消磁信号输入到功率放大器111。反馈系统113一般采用普通电阻反馈，以达到调节增益稳定系统的目的。功率放大器111将霍尔电压参量线性放大为电流量，驱动线圈107作为变压器的次级线圈。该电流在线圈中产生的磁通方向与被测导线在线圈中产生的磁通方向相反，在磁芯中这两种磁通大小相等，方向相反，相互抵消，此时被测导体中的电流与功率放大器111输出的电流具有一定的线性关系，功率放大器111输出的电流量通过输出级运算放大器108输出到示波器或者测量仪器中。通过测量功率放大器111输出的电流来测量被测导线中流过的电流，就是电流探头零磁通测量的原理。

[0004] 在进行上述现有技术的过程中，发明人发现在反复使用电流探头的过程中，闭合磁芯103的磁头容易产生剩磁，这将会给电流探头的测量引入额外的误差，使得测量结果产生偏差。对于用户来说为了使上述电流探头进行消磁，需要进行如下操作，首先需要将载流

导体104从电流探头的闭合磁头103中移出来，然后电流探头电路通过控制单刀双掷开关112，将输入到功率放大器111的信号切换成消磁信号，对闭合磁芯103进行消磁。因此，单刀双掷开关112在这个过程中，就会显得尤为的关键。由于单刀双掷开关112的频繁切换，容易造成损坏，从而影响了对闭合磁芯103的消磁性能。另外，由于霍尔传感器105本身偏置电压的不对称，也会在没有被测导体的情况下有信号输出。这样子也会给电流探头测量带来一个直流偏移误差。现有技术是通过调节霍尔传感器的偏置电压来实现处理该直流偏移误差的。然而这种校正方法灵敏度要求较高，调节过程中容易出现反复的现象，总在零点左右很难调节到零点。另外，在工厂生产中，组装完成的电流探头需要进行一系列的性能指标的检测以及校准。其中检测的指标有：电流探头的直流精度的检测以及校准，带宽的检测以及控制，频带范围内的频响特性的检测以及校准等。而直流精度的检测与校准是通过输出端的固定电阻来实现的。带宽的检测与控制是通过滤波器来实现的。带宽范围内频响特性的检测以及校准，是通过调节功率放大器的反馈电路实现的。这些检测以及校准都是通过人工手动进行测量与校准的，严重影响了生产的效率。可见，现有技术的电流探头存在结构上的缺陷，容易造成电流探头的测量不准确的问题，同时电流探头的在生产完成后的各性能指标的检测和校准过程存在繁琐复杂的问题。

发明内容

[0005] 本发明的实施例提供一种电流探头及其控制方法，以解决现有技术的电流探头存在结构上的缺陷，容易造成电流探头的测量不准确的问题，同时电流探头的在生产完成后的各性能指标的检测和校准过程存在繁琐复杂的问题。

[0006] 为达到上述目的，本发明采用如下技术方案：

[0007] 一种电流探头，包括由上磁芯和下磁芯组成的闭合磁芯、霍尔传感器、差分放大器电路、运算放大器电路、反馈系统电路、第一并联端接电阻、信号输出电路和控制单元电路；

[0008] 所述霍尔传感器嵌入所述下磁芯的一边，且所述下磁芯和上磁芯组成的磁头中穿过有被测导线；所述霍尔传感器的两个输出端分别连接差分放大器电路的同相输入端和反相输入端；所述差分放大器电路的输出端连接至所述运算放大器电路的反相输入端；所述反馈系统电路连接于所述运算放大器电路的反相输入端和输出端之间；所述下磁芯绕有被测导线的一边的对边绕有次级绕组线圈，所述次级绕组线圈的一端连接所述运算放大器电路的输出端，所述次级绕组线圈的另一端连接所述第一并联端接电阻的一端和信号输出电路；所述第一并联端接电阻的另一端接地；

[0009] 所述控制单元电路连接所述反馈系统电路，以进行电流探头的自动频响校准。

[0010] 进一步的，所述电流探头还包括功率放大器电路和直流校准信号产生电路；所述功率放大器电路的反相输入端与所述运算放大器电路的输出端连接，所述功率放大器电路的输出端与所述次级绕组线圈的一端连接；所述直流校准信号产生电路与所述功率放大器电路的同相输入端或者运算放大器电路的同相输入端连接；

[0011] 所述控制单元电路还连接所述直流校准信号产生电路，以进行电流探头的直流偏移调节。

[0012] 进一步的，所述电流探头还包括消磁信号产生电路；所述消磁信号产生电路与所述功率放大器电路的同相输入端或者运算放大器电路的同相输入端连接；

[0013] 所述控制单元电路还连接所述消磁信号产生电路，以进行电流探头消磁控制。

[0014] 具体的，所述信号输出电路包括一输出级运算放大器电路；所述次级绕组线圈的另一端连接所述第一并联端接电阻的一端和所述输出级运算放大器电路的输入端；所述输出级运算放大器电路的输出端作为所述电流探头的测量输出端。

[0015] 具体的，所述霍尔传感器具有第一输入端、第二输入端、第一输出端和第二输出端；所述第一输入端和第二输入端连接所述系统电源电路的供电输出端；

[0016] 所述第一输出端连接所述差分放大器电路的同相输入端，所述第二输出端连接所述差分放大器电路的反相输入端；所述差分放大器电路的输出端与所述运算放大器电路的反相输入端之间还设置有RC滤波电路；所述差分放大器电路的输出端连接RC滤波电路的输入端，RC滤波电路的输出端连接运算放大器电路的反相输入端。

[0017] 具体的，所述信号输出电路包括串联端接电阻、传输线缆、滤波器电路、输出阻抗匹配电路和高频连接器；

[0018] 所述串联端接电阻的一端与所述次级绕组线圈的另一端连接；所述串联端接电阻的另一端依次连接所述传输线缆、滤波器电路及高频连接器；所述滤波器电路与所述高频连接器的连接处连接所述第二并联端接电阻的一端，所述第二并联端接电阻的另一端接地；所述高频连接器用于与示波器的模拟前端连接；

[0019] 所述控制单元电路还分别与所述滤波器电路和输出阻抗匹配电路连接，以分别进行电流探头的带宽控制和电流探头的直流精度调节。

[0020] 具体的，所述差分放大器电路包括一差分放大器芯片；所述差分放大器芯片包括反相输入端IN－、同相输入端IN+、第一电阻连接端Rg1、第二电阻连接端Rg2、电源正极连接端Vs+、电源负极连接端Vs-、输出端Vout和参考电压连接端REF；

[0021] 所述霍尔传感器的第一输出端连接所述反相输入端IN-；所述霍尔传感器的第二输出端连接所述同相输入端IN+；

[0022] 所述第一电阻连接端Rg1和第二电阻连接端Rg2通过一第一电阻连接；

[0023] 所述电源正极连接端Vs+加载有正12伏电压；所述电源负极连接端Vs-加载有负12伏电压；

[0024] 所述参考电压连接端REF接地；

[0025] 所述输出端Vout连接所述RC滤波电路的输入端。

[0026] 具体的，所述反馈系统电路包括一第一数字可调电位器；所述第一数字可调电位器包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线端SDA以及时钟连接线端SCL；

[0027] 所述接地端GND接地；所述工作电压连接端VDD加载有正5伏电压；所述双向数据连接线端SDA和时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端连接；所述第一引脚连接端A1和第五引脚连接端W1相连接；所述第二引脚连接端A2连接一第二电阻后加载有正12伏电压；所述第四引脚连接端B2连接一第三电阻后加载有负12伏电压。

[0028] 具体的，所述运算放大器电路包括：运算放大器、第四电阻、第五电阻、第六电阻以及第一电容；

[0029] 所述运算放大器加载有正12V电压和负12V电压;所述运算放大器的反相输入端通过所述第四电阻与所述RC滤波电路的输出端连接;所述运算放大器的同相输入端分别连接所述第五电阻的一端和第六电阻的一端;所述第五电阻的另一端作为所述运算放大器电路的同相输入端;所述第六电阻的另一端接地;所述运算放大器的输出端与运算放大器的反相输入端连接所述第一电容的两端;所述运算放大器的输出端还连接所述第一数字可调电位器的第三引脚连接端B1;所述运算放大器的反相输入端还连接所述第一数字可调电位器的第一引脚连接端A1。

[0030] 具体的,所述功率放大器电路包括:功率放大器、第七电阻、第八电阻、第九电阻以及第十电阻;

[0031] 所述功率放大器加载有正12V电压和负12V电压;所述功率放大器的反相输入端通过所述第八电阻与所述运算放大器的输出端连接;所述功率放大器的同相输入端分别连接所述第九电阻的一端和第十电阻的一端;所述第九电阻的另一端作为所述功率放大器电路的同相输入端;所述第十电阻的另一端接地;所述功率放大器的输出端与功率放大器的反相输入端连接所述第七电阻的两端;所述功率放大器的输出端还连接所述次级绕组线圈的一端。

[0032] 具体的,所述直流校准信号产生电路包括:直流校准运算放大器、第十一电阻、第十二电阻以及第二电容;

[0033] 所述直流校准运算放大器加载有正12V电压和负12V电压;所述直流校准运算放大器的反相输入端通过所述第十一电阻与所述第一数字可调电位器的第六引脚连接端W2连接;所述直流校准运算放大器的同相输入端通过所述第十二电阻与所述直流校准运算放大器的输出端连接;所述直流校准运算放大器的输出端还通过所述第二电容接地;所述直流校准运算放大器的输出端作为所述直流校准信号产生电路的输出端。

[0034] 具体的,所述消磁信号产生电路包括:消磁运算放大器、第十三电阻、第十四电阻、第十五电阻、第十六电阻、第三电容、第四电容以及第五电容;

[0035] 所述消磁运算放大器加载有正12V电压和负12V电压;所述消磁运算放大器的反相输入端通过所述第十四电阻接地;所述消磁运算放大器的同相输入端通过第四电容和第十五电阻组成的并联电路后接地;所述消磁运算放大器的同相输入端还通过所述第五电容和第十六电阻组成的串联电路后连接所述消磁运算放大器的输出端;所述消磁运算放大器的输出端与所述控制单元电路的消磁控制信号输出端连接;所述消磁运算放大器的输出端还通过所述第三电容和第十三电阻组成的并联电路后接地;所述消磁运算放大器的输出端作为所述消磁信号产生电路的输出端。

[0036] 具体的,所述滤波器电路为5阶巴特沃斯低通滤波器电路;所述5阶巴特沃斯低通滤波器电路包括:数字可调电容器、第一电感、第二电感、第六电容、第七电容、第八电容以及第九电容;所述数字可调电容器包括使能信号连接端SEN、第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4、时钟信号连接端SCLK、电压连接端VDD、第一电容器端口RF-1、第二电容器端口RF-2、第三电容器端口RF+1、第四电容器端口RF+2和双向数据连接端SDAT;

[0037] 所述第一电感的一端连接所述传输线缆,所述第一电感的另一端连接所述第二电感的一端,所述第二电感的另一端与所述输出阻抗匹配电路连接;所述第六电容的一端连

接于所述第一电感与所述传输线缆的连接处;所述第七电容的一端和第八电容的一端连接于所述第一电感与所述第二电感的连接处;所述第九电容的一端连接于所述第二电感与所述输出阻抗匹配电路的连接处;所述第六电容的另一端、第七电容的另一端和第九电容的另一端均接地;所述第八电容的另一端连接所述第三电容器端口RF+1和第四电容器端口RF+2;所述第六电容的另一端、第七电容的另一端和第九电容的另一端还连接第一电容器端口RF-1和第二电容器端口RF-2;

[0038] 所述第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4分别接地;所述电压连接端VDD加载有正3.3伏电压;所述使能信号连接端SEN连接所述控制单元电路的使能信号输出端;所述时钟信号连接端SCLK连接所述控制单元电路的时钟信号输出端;所述双向数据连接端SDAT连接所述控制单元电路的双向数据输出端。

[0039] 具体的,所述输出阻抗匹配电路包括第二数字可调电位器、第十七电阻、第十八电阻、第十九电阻和第二十电阻;所述第二数字可调电位器包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线端SDA以及时钟连接线端SCL;

[0040] 所述第十七电阻的一端、第十八电阻的一端、第十九电阻的一端和第二十电阻的一端均分别连接5阶巴特沃斯低通滤波器电路和高频连接器;所述第十七电阻的另一端、第十八电阻的另一端和第十九电阻的另一端均接地;所述第二十电阻的另一端连接第二数字可调电位器的第四引脚连接端B2;

[0041] 所述第二数字可调电位器的第二引脚连接端A2、第六引脚连接端W2和接地端GND接地;所述第二数字可调电位器的工作电压连接端VDD加载有正3.3伏电压;所述第二数字可调电位器的双向数据连接线端SDA和时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端连接。

[0042] 一种电流探头的控制方法,应用于上述的电流探头;所述方法包括:

[0043] 通过控制单元电路控制反馈系统电路,进行电流探头的自动频响校准;

[0044] 通过控制单元电路控制消磁信号产生电路,进行电流探头消磁控制;

[0045] 通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路,进行电流探头的直流偏移调节;

[0046] 通过控制单元电路控制滤波器电路,进行电流探头的带宽控制;

[0047] 通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路,进行电流探头的直流精度调节。

[0048] 具体的,所述通过控制单元电路控制反馈系统电路,进行电流探头的自动频响校准,包括:

[0049] 通过控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端调节第一数字可调电位器的阻值,进行电流探头的自动频响校准。

[0050] 具体的,通过控制单元电路控制消磁信号产生电路,进行电流探头消磁控制,包括:

[0051] 通过控制单元电路的消磁控制信号输出端产生消磁控制信号,使得第三电容进行充放电,在消磁信号产生电路的输出端产生幅度值逐渐减小的正弦信号,进行电流探头消磁控制。

[0052] 具体的,通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路,进行电流探头的直流偏移调节,包括:

[0053] 通过控制单元电路调节第一数字可调电位器，改变直流校准信号产生电路输出的直流信号，进行电流探头的直流偏移调节。

[0054] 具体的，通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制，包括：

[0055] 通过控制单元电路控制调节数字可调电容器的电容值，进行电流探头的带宽控制。

[0056] 具体的，通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节，包括：

[0057] 通过控制单元电路控制调节第二数字可调电位器的阻值，进行电流探头的直流精度调节。

[0058] 本发明实施例提供的一种电流探头及其控制方法，通过将霍尔传感器的两个输出端分别连接差分放大器电路同相输入端和反相输入端，而并非霍尔传感器的一端接地，另一端连接差分放大器电路，使得霍尔传感器的输出平衡，避免霍尔器件本身由于偏置电压的不对称，在没有被测导体的情况下有信号输出造成电流探头的测量结果不准确的问题。另外，本发明通过控制单元电路可以控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准；控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制；控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节；控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制；控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节，从而避免电流探头的在生产完成后的各性能指标的检测和校准过程存在繁琐复杂的问题。

附图说明

[0059] 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，下面将对实施例或现有技术描述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。

[0060] 图1为现有技术的电流探头的简单原理示意图；

[0061] 图2为本发明实施例提供的一种电流探头的结构示意图一；

[0062] 图3为本发明实施例提供的一种电流探头的结构示意图二；

[0063] 图4为本发明实施例提供的一种电流探头的结构示意图三；

[0064] 图5为本发明实施例中的系统电源电路的结构示意图；

[0065] 图6为本发明实施例中的霍尔传感器的示意图；

[0066] 图7为本发明实施例提供的一种电流探头的结构示意图四；

[0067] 图8为本发明实施例中的差分放大器电路的示意图；

[0068] 图9为本发明实施例中的反馈系统电路的示意图；

[0069] 图10为本发明实施例中的运算放大器电路的示意图；

[0070] 图11为本发明实施例中的功率运算放大器电路的示意图；

[0071] 图12为本发明实施例中的直流校准信号产生电路的示意图；

[0072] 图13为本发明实施例中的消磁信号产生电路的示意图；

[0073] 图14为本发明实施例中的5阶巴特沃斯滤波电路的示意图；

[0074] 图15为本发明实施例中的输出阻抗匹配电路的示意图；

[0075] 图16为本发明实施例中的高频输出端子BNC的示意图；

[0076] 图17为本发明实施例中的控制单元电路的单片机实现方案示意图；

[0077] 图18为本发明实施例提供的一种电流探头的控制方法的流程图。

具体实施方式

[0078] 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。

[0079] 如图2所示，本发明实施例提供一种电流探头20，包括由上磁芯201和下磁芯202组成的闭合磁芯203、霍尔传感器204、差分放大器电路220、运算放大器电路205、反馈系统电路207(用于增益调节)、第一并联端接电阻211、信号输出电路212和控制单元电路254。

[0080] 所述霍尔传感器204嵌入所述下磁芯202的一边，且所述下磁芯202和上磁芯201组成的磁头中穿过有被测导线213。所述霍尔传感器204的两个输出端分别连接差分放大器电路220的同相输入端和反相输入端；所述差分放大器电路220的输出端连接至运算放大器电路205的反相输入端；所述反馈系统电路207连接于所述运算放大器电路205的反相输入端和输出端之间；所述下磁芯202绕有被测导线213的一边的对边绕有次级绕组线圈214，所述次级绕组线圈214的一端连接所述运算放大器电路205的输出端，所述次级绕组线圈214的另一端连接所述第一并联端接电阻211的一端和信号输出电路212；所述第一并联端接电阻211的另一端接地。

[0081] 所述控制单元电路254连接所述反馈系统电路207，以进行电流探头的自动频响校准。

[0082] 另外，如图2所示，所述电流探头20，还包括系统电源电路210，该系统电源电路210为整个电流探头20的各部分供电。

[0083] 进一步的，如图3所示，所述电流探头20还包括功率放大器电路206和直流校准信号产生电路209；所述功率放大器电路206的反相输入端与所述运算放大器电路205的输出端连接，所述功率放大器电路206的输出端与所述次级绕组线圈214的一端连接；所述直流校准信号产生电路209与所述功率放大器电路206的同相输入端或者运算放大器电路205的同相输入端连接。

[0084] 所述控制单元电路254还连接所述直流校准信号产生电路209，以进行电流探头的直流偏移调节。

[0085] 进一步的，如图3所示，所述电流探头20还包括消磁信号产生电路208；所述消磁信号产生电路208与所述功率放大器电路206的同相输入端或者运算放大器电路205的同相输入端连接。在图3中，仅以消磁信号产生电路208和直流校准信号产生电路209的一种连接方式为例进行阐述，其他连接方式此处不再赘述。

[0086] 所述控制单元电路254还连接所述消磁信号产生电路208，以进行电流探头消磁控制。

[0087] 由于闭合磁芯203采用高频磁材制成，其在磁场中会被磁化，闭合磁芯中的磁畴在外磁场的作用下就会有序的排列，因此，闭合磁芯拥有了磁性。当磁场移走后磁畴仍然有序

排列，也就是说闭合磁芯仍然具有磁性。闭合磁芯在去掉外界磁场的情况下，仍然保持磁性，即剩磁。因此需要采用消磁信号产生电路208来进行消磁。

[0088] 这样，将被测信号和消磁信号进行叠加，从而实现直接消磁的功能，另外将被测信号和直流校准信号进行叠加，从而可以实现直流偏置校准。

[0089] 具体的，如图4所示，所述信号输出电路212包括一输出级运算放大器电路215；所述次级绕组线圈214的另一端连接所述第一并联端接电阻211的一端和所述输出级运算放大器电路215的输入端；所述输出级运算放大器电路215的输出端作为所述电流探头20的测量输出端。

[0090] 具体的，所述系统电源电路210的结构可以如图5所示，其中的系统电源电路芯片包括空脚NC1至NC3，输入引脚IN，输出引脚OUT，接地引脚GND，水平调节控制引脚NR以及电压微调引脚TRIM；另外系统电源电路210的结构还包括两个放大器。

[0091] 具体的，如图6所示，所述霍尔传感器204具有第一输入端216、第二输入端217、第一输出端218和第二输出端219；所述第一输入端216和第二输入端217连接系统电源电路210的供电输出端，即如图5所示的两个放大器的输出端。

[0092] 进一步的，如图7所示，该霍尔传感器204的第一输出端218可以连接差分放大器电路220的同相输入端，所述霍尔传感器204的第二输出端219可以连接所述差分放大器电路220的反相输入端；所述差分放大器电路220的输出端连接一RC滤波电路221的输入端，RC滤波电路221的输出端连接运算放大器电路205的反相输入端。

[0093] 具体的，如图7所示，所述信号输出电路212包括串联端接电阻222、传输线缆223、滤波器电路224、输出阻抗匹配电路225和高频连接器226。

[0094] 所述串联端接电阻222的一端与所述次级绕组线圈214的另一端连接；所述串联端接电阻222的另一端依次连接所述传输线缆223、滤波器电路224及高频连接器226；所述滤波器电路224与所述高频连接器226的连接处连接所述输出阻抗匹配电路225的电阻一端，所述输出阻抗匹配电路225的电阻另一端接地；所述高频连接器226用于与示波器30的模拟前端301连接。

[0095] 所述控制单元电路254还分别与所述滤波器电路224和输出阻抗匹配电路225连接，以分别进行电流探头的带宽控制和电流探头的直流精度调节。

[0096] 具体的，如图8所示，所述差分放大器电路220包括一差分放大器芯片227；所述差分放大器芯片包括反相输入端IN－、同相输入端IN+、第一电阻连接端Rg1、第二电阻连接端Rg2、电源正极连接端Vs+、电源负极连接端Vs-、输出端Vout和参考电压连接端REF。

[0097] 图6中所述的霍尔传感器204的第一输出端218连接图8中的所述反相输入端IN-；所述霍尔传感器204的第二输出端219连接图8中的所述同相输入端IN+。

[0098] 如图8所示，所述第一电阻连接端Rg1和第二电阻连接端Rg2通过一第一电阻228连接。

[0099] 所述电源正极连接端Vs+加载有正12伏电压；所述电源负极连接端Vs-加载有负12伏电压。

[0100] 所述参考电压连接端REF接地。

[0101] 所述差分放大器芯片227的输出端Vout连接所述RC滤波电路221的输入端。

[0102] 此处，由于霍尔传感器输出的信号非常微弱，而且容易引入噪声，噪声太大就会导

致电流探头的测量最小精度变大，探头性能变差。为了降低该部分的噪声，因此在差分放大器之后设置一个RC滤波电路，从而可以很好的抑制噪声，提高信噪比，改善电流探头的性能。

[0103] 具体的，如图9所示，所述反馈系统电路207包括一第一数字可调电位器229；所述第一数字可调电位器229包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线端SDA以及时钟连接线端SCL。

[0104] 所述接地端GND接地；所述工作电压连接端VDD加载有正5伏电压；所述双向数据连接线端SDA和所述时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路254的双向数据信号输出端(SDA)和时钟信号输出端连接(SCL)；所述第一引脚连接端A1和第五引脚连接端W1相连接；所述第二引脚连接端A2连接一第二电阻230后加载有正12伏电压；所述第四引脚连接端B2连接一第三电阻231后加载有负12伏电压。

[0105] 具体的，如图10所示，所述运算放大器电路205包括：运算放大器232、第四电阻233、第五电阻234、第六电阻235以及第一电容236。

[0106] 所述运算放大器232加载有正12V电压和负12V电压；所述运算放大器232的反相输入端通过所述第四电阻233与所述RC滤波电路221的输出端连接；所述运算放大器232的同相输入端分别连接所述第五电阻234的一端和第六电阻235的一端；所述第五电阻234的另一端作为运算放大器电路205的同相输入端；所述第六电阻235的另一端接地；所述运算放大器232的输出端与运算放大器232的反相输入端连接所述第一电容236的两端；所述运算放大器232的输出端还连接图9中所述第一数字可调电位器229的第三引脚连接端B1；所述运算放大器232的反相输入端还连接图9中所述第一数字可调电位器229的第一引脚连接端A1。

[0107] 具体的如图11所示，所述功率放大器电路206包括：功率放大器237、第七电阻238、第八电阻239、第九电阻240以及第十电阻241。

[0108] 所述功率放大器237加载有正12V电压和负12V电压；所述功率放大器237的反相输入端通过所述第八电阻239与图10中的所述运算放大器232的输出端连接；所述功率放大器237的同相输入端分别连接所述第九电阻240的一端和第十电阻241的一端；所述第九电阻240的另一端作为所述功率放大器电路206的同相输入端；所述第十电阻241的另一端接地；所述功率放大器237的输出端与功率放大器237的反相输入端连接所述第七电阻238的两端；所述功率放大器237的输出端还连用于接所述次级绕组线圈214的一端。

[0109] 具体的如图12所示，所述直流校准信号产生电路209包括：直流校准放大器242、第十一电阻243、第十二电阻244以及第二电容245。

[0110] 所述直流校准运算放大器242加载有正12V电压和负12V电压；所述直流校准运算放大器242的反相输入端通过所述第十一电阻243与图9所示的所述第一数字可调电位器229的第六引脚连接端W2连接；所述直流校准运算放大器242的同相输入端通过所述第十二电阻244与所述直流校准运算放大器242的输出端连接；所述直流校准运算放大器242的输出端还通过所述第二电容245接地；所述直流校准运算放大器242的输出端作为所述直流校准信号产生电路209的输出端。

[0111] 具体的如图13所示，所述消磁信号产生电路208包括：消磁运算放大器246、第十三

电阻247、第十四电阻248、第十五电阻249、第十六电阻250、第三电容251、第四电容252以及第五电容253。

[0112] 所述消磁运算放大器246加载有正12V电压和负12V电压；所述消磁运算放大器246的反相输入端通过所述第十四电阻248接地；所述消磁运算放大器246的同相输入端通过第四电容252和第十五电阻249组成的并联电路后接地；所述消磁运算放大器246的同相输入端还通过所述第五电容253和第十六电阻250组成的串联电路后连接所述消磁运算放大器246的输出端；所述消磁运算放大器246的输出端与所述控制单元电路254的消磁控制信号输出端连接；所述消磁运算放大器246的输出端还通过所述第三电容251和第十三电阻247组成的并联电路后接地；所述消磁运算放大器246的输出端作为所述消磁信号产生电路208的输出端。

[0113] 对于图13所示的消磁信号产生电路208，需要知道的是，高磁导率的铁磁材料，可通过施加适当的反向磁场，就是可以通过交变电流信号驱动线圈产生方向交替变化的磁场，用该磁场可以对磁芯进行消磁。或对其施加高温或者振动来达到减弱或消除剩磁。在本发明实施例中采用的消磁方法就是将磁芯放在交变磁场中，使其失去磁性。首先，设计正弦波发生电路产生正弦信号，作为消磁信号，用该正弦信号驱动线圈产生磁场方向交替变化的磁场，用该磁场进行磁芯的消磁。而该消磁信号是通过运算放大器叠加到磁头的线圈上，信号在线圈上产生方向交替变化的磁场，并且，其幅度值也逐渐减小，即可实现消磁的目的。图13中的消磁信号产生电路208可以采用文氏电桥振荡电路。该电路会产生一定幅值一定频率的正弦信号，最后将该正弦信号输入到线圈中产生一个方向随时间交替变化的磁场用来给磁芯进行消磁。

[0114] 此外，如图14所示，该滤波器电路224可以采用5阶巴特沃斯滤波电路。其中该5阶巴特沃斯滤波电路的最左端连接传输线缆223，最右端连接输出阻抗匹配电路225和高频连接器226。

[0115] 所述5阶巴特沃斯低通滤波器电路包括：数字可调电容器255、第一电感256、第二电感257、第六电容258、第七电容259、第八电容260以及第九电容261。所述数字可调电容器255包括使能信号连接端SEN、第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4、时钟信号连接端SCLK、电压连接端VDD、第一电容器端口RF-1、第二电容器端口RF-2、第三电容器端口RF+1、第四电容器端口RF+2和双向数据连接端SDAT。

[0116] 所述第一电感256的一端连接所述传输线缆223，所述第一电感256的另一端连接所述第二电感257的一端，所述第二电感257的另一端与所述输出阻抗匹配电路225连接；所述第六电容258的一端连接于所述第一电感256与所述传输线缆223的连接处；所述第七电容259的一端和第八电容260的一端连接于所述第一电感256与所述第二电感257的连接处；所述第九电容261的一端连接于所述第二电感257与所述输出阻抗匹配电路225的连接处；所述第六电容258的另一端、第七电容259的另一端和第九电容261的另一端均接地；所述第八电容260的另一端连接所述第三电容器端口RF+1和第四电容器端口RF+2；所述第六电容258的另一端、第七电容259的另一端和第九电容261的另一端还连接第一电容器端口RF-1和第二电容器端口RF-2；

[0117] 所述第一地连接端GND1、第二地连接端GND2、第三地连接端GND3、第四地连接端GND4分别接地；所述电压连接端VDD加载有正3.3伏电压；所述使能信号连接端SEN连接所述

控制单元电路254的使能信号输出端;所述时钟信号连接端SCLK连接所述控制单元电路254的时钟信号输出端;所述双向数据连接端SDAT连接所述控制单元电路254的双向数据输出端。

[0118] 此外,如图15所示,该输出阻抗匹配电路225的最左端连接上述的5阶巴特沃斯滤波电路,最右端连接高频连接器226。所述输出阻抗匹配电路225包括第二数字可调电位器262、第十七电阻263、第十八电阻264、第十九电阻265和第二十电阻266;所述第二数字可调电位器262包括第一引脚连接端A1、第二引脚连接端A2、第三引脚连接端B1、第四引脚连接端B2、第五引脚连接端W1、第六引脚连接端W2、接地端GND、工作电压连接端VDD、双向数据连接线端SDA以及时钟连接线端SCL;

[0119] 所述第十七电阻263的一端、第十八电阻264的一端、第十九电阻265的一端和第二十电阻266的一端均分别连接5阶巴特沃斯低通滤波器电路和高频连接器226;所述第十七电阻263的另一端、第十八电阻264的另一端和第十九电阻265的另一端均接地;所述第二十电阻266的另一端连接第二数字可调电位器262的第四引脚连接端B2。

[0120] 所述第二数字可调电位器262的第二引脚连接端A2、第六引脚连接端W2和接地端GND接地;所述第二数字可调电位器262的工作电压连接端VDD加载有正3.3伏电压;所述第二数字可调电位器262的双向数据连接线端SDA和时钟连接线端SCL通过I2C总线分别与所述控制单元电路254的双向数据信号输出端和时钟信号输出端连接。

[0121] 此外,如图16所示,该高频连接器226可以采用高频输出端子BNC(Bayonet Nut Connector)来实现。其中该高频输出端子BNC可以连接示波器30的模拟前端301(图16中未示出)。

[0122] 此处,如图17所示,该控制单元电路254可以由单片机电路实现,在图17中,SDA和SCL即分别表示控制单元电路254的双向数据信号输出端和时钟信号输出端,SEN_1为控制单元电路254的使能信号输出端,SCL_1为与时钟信号连接端SCLK连接的时钟信号输出端,SDA_1为与双向数据连接端SDAT连接的双向数据输出端。Demagnetizing_control_signal为消磁控制信号输出端。由于控制单元电路254可以采用当前较为成熟的单片机技术,其具体方式此处不再赘述。

[0123] 本发明实施例提供的一种电流探头,通过将霍尔传感器的两个输出端分别连接差分放大器电路同相输入端和反相输入端,而并非霍尔传感器的一端接地,另一端连接差分放大器电路,使得霍尔传感器的输出平衡,避免霍尔器件本身由于偏置电压的不对称,在没有被测导体的情况下有信号输出造成电流探头的测量结果不准确的问题。另外,本发明实施例优选的选用差分放大器、运算放大器和功率运算放大器的三级信号放大的电路结构,并通过消磁信号产生电路和直流校准信号产生电路分别将消磁信号和直流校准信号同时引入电流探头电路中,在不影响电流测量的情况下,可以随时对闭合磁芯进形成的磁头行消磁以及进行偏移校正,可以避免现有技术中电流探头的测量结果不准确的问题。另外,该三级信号放大的电路结构的第一级采用差分放大电路,具有很好的抑制共模噪声,提高信号质量的效果。

[0124] 另外,值得说明的是,本发明实施例可以通过微控制单元(Microcontroller Unit,简称MCU)来控制各路信号和开关,以应用所述电流探头,从而实现消磁以及直流校准的自动化操作。

[0125] 如图18所示，本发明实施例提供一种电流探头的控制方法，应用于上述的电流探头；所述方法包括：

[0126] 步骤401、通过控制单元电路控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准。

[0127] 此处，在步骤401中，可以通过控制单元电路的双向数据信号输出端和时钟信号输出端调节第一数字可调电位器的阻值，进行电流探头的自动频响校准。

[0128] 宽频带的电流探头，采用霍尔元件进行低频电流信号的测量，通过线圈进行高频电流信号的测量。这就要求低频段的幅频特性与高频段的幅频特性要一致，这样才能保证电流探头在较宽的频带范围内的幅频响应特性很平坦。此处通过调节二级运算放大器的反馈电阻来调节低频段的幅频特性，使其与高频段保持一致，来实现高低频段的幅频特性具有良好的一致性。

[0129] 步骤402、通过控制单元电路控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制。

[0130] 在步骤402中，可以通过控制单元电路的消磁控制信号输出端产生消磁控制信号，使得第三电容进行充放电，在消磁信号产生电路的输出端产生幅度值逐渐减小的正弦信号，进行电流探头消磁控制。

[0131] 此处，对磁芯进行消磁的原理是给磁芯加上方向交替变化、幅度值由大变小的磁场。可以使磁芯中具有一定方向的磁畴，方向变得紊乱，失去磁性，达到消磁的目的。

[0132] 消磁信号产生电路可以采用文氏电桥振荡器电路。当给消磁信号产生电路中的运算放大器(或称为跨导放大器)供电后，该运算放大器的第4引脚就会输出频率为：$f=1/(2\pi RC)$的正弦信号，此处R的阻值为第十六电阻的阻值，C的电容值为第五电容的电容值。

[0133] 消磁控制信号接到了跨导放大器的输出控制端，当消磁信号为高电平时，跨导放大器可以输出正弦波信号。当消磁控制信号为低电平时，跨导放大器没有输出，此时为低电平。在消磁信号输入的路径上加电容与电阻并联的电路结构，为了实现一种延迟效应。当消磁控制信号为高电平时，首先为第三电容充电，当消磁控制信号悬空时，第三电容开始放电，这样可以使得跨导放大器的输出端电平有一个保持的过程，电平逐渐减小。最终的效果是正弦信号的幅度值由一个确定的值逐渐减小。这样就可以产生一个幅度值由大变小的正弦信号，该正弦信号去驱动线圈产生方向随时间交替变化的磁场，磁场强度由大变小，这样的磁场在磁芯中就可以实现磁芯的消磁功能。

[0134] 步骤403、通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节。

[0135] 在步骤403中，可以通过控制单元电路调节第一数字可调电位器，改变直流校准信号产生电路输出的直流信号，进行电流探头的直流偏移调节。第一数字可调电位器与第二电阻与第三电阻组成了一个分压电路，产生一个直流信号，通过控制第一数字可调电位器，改变这个直流信号的大小。这样第一数字可调电位器与第三运算放大器组成了一个产生可调节的直流信号电路。这个直流信号从第三运算放大器的同相端输入，与第三运算放大器的反相端输入的信号叠加，实现信号的直流偏移的调节，即实现了电流探头的自动调零。

[0136] 步骤404、通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制。

[0137] 在步骤404中，可以通过控制单元电路控制调节数字可调电容器的电容值，进行电流探头的带宽控制。滤波器电路采用的是5阶巴特沃斯低通滤波器电路，通过修改该电路中的第一电感与第二电感之间的电容的总值，可以改变该5阶巴特沃斯滤波器的性能参数。将

数字可调电容器接在网络RF+和RF-之间，通过IIC总线改变数字可调电容器的容值，就可以通过5阶巴特沃斯低通滤波器调节幅频特性平坦度，以及控制系统带宽。

[0138] 步骤405、通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节。

[0139] 在此处步骤405中，可以通过控制单元电路控制调节第二数字可调电位器的阻值，进行电流探头的直流精度调节。因为第二数字可调电位器接在输出阻抗匹配电路的RL_A和RL_B之间，从而控制单元电路通过控制第二数字可调电位器的阻值就改变了端接电阻的阻值，端接电阻与电流探头的输出电阻组成了分压电路，可以调节直流精度。

[0140] 本发明实施例提供的一种电流探头的控制方法，通过控制单元电路可以控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准；控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制；控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节；控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制；控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节，从而避免电流探头的在生产完成后的各性能指标的检测和校准过程存在繁琐复杂的问题。

[0141] 本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0142] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0143] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0144] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0145] 本发明中应用了具体实施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。

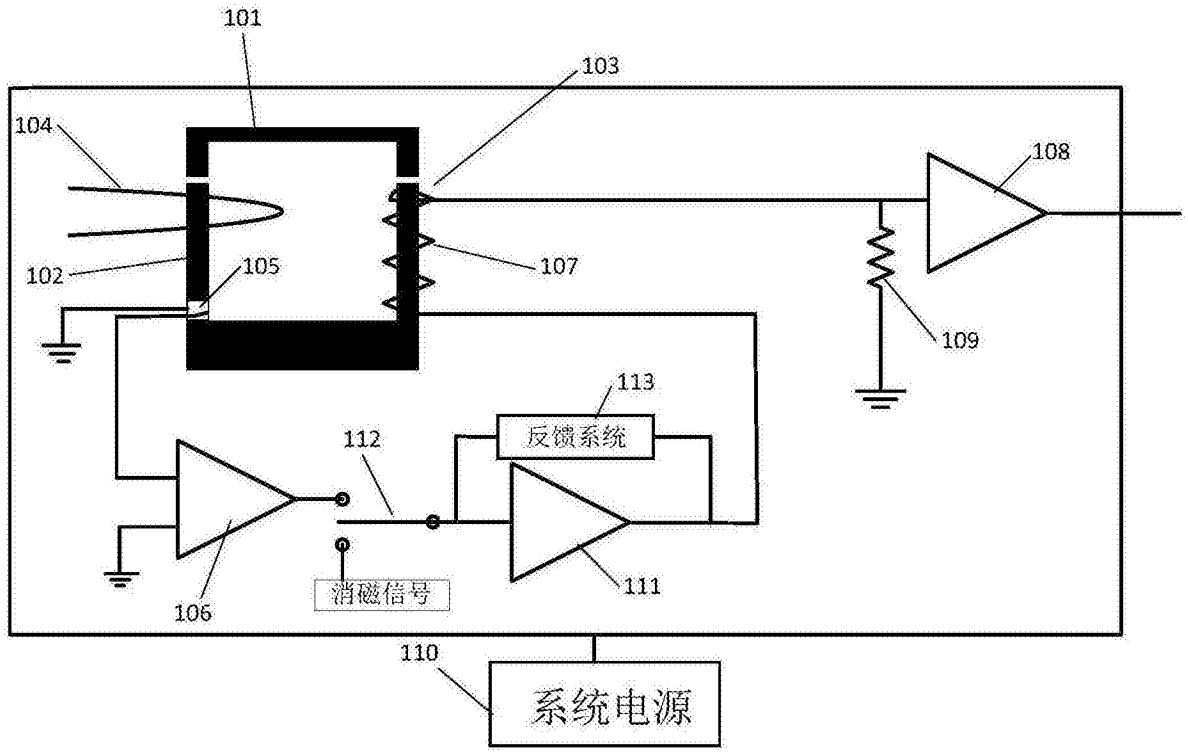

101
103
104
108
102
105
107
109
113
反馈系统
112
消磁信号
106
111
110
系统电源

图1

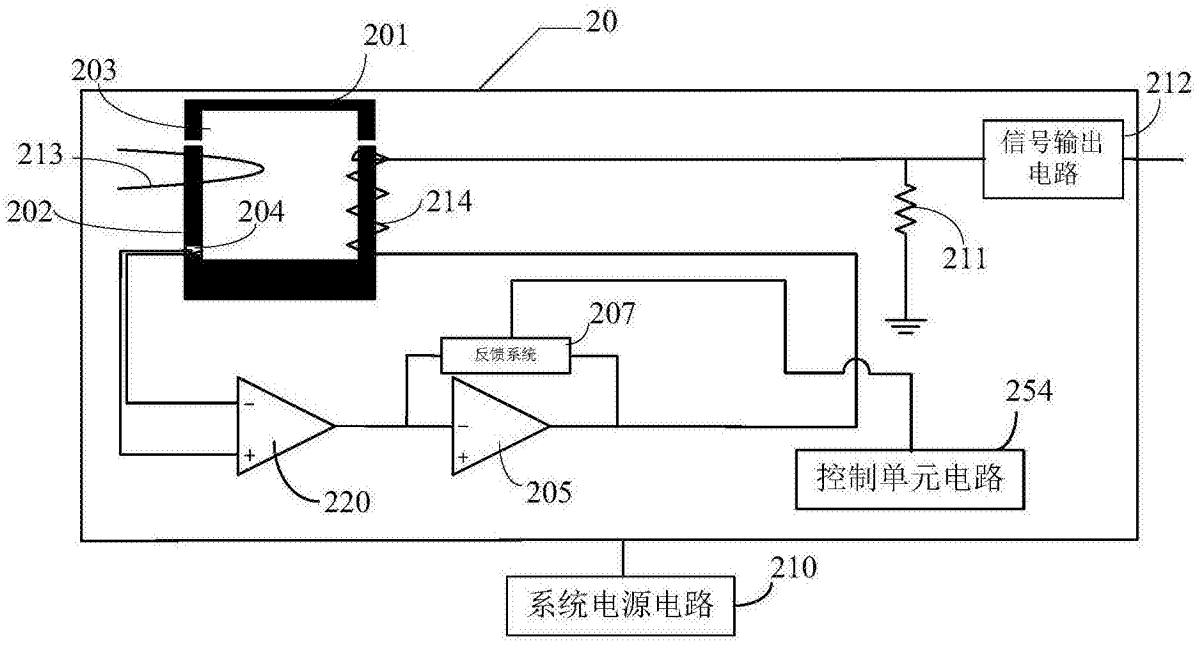

20
201
203
212
信号输出电路
213
202
204
214
211
207
反馈系统
254
220
205
控制单元电路
210
系统电源电路

图2

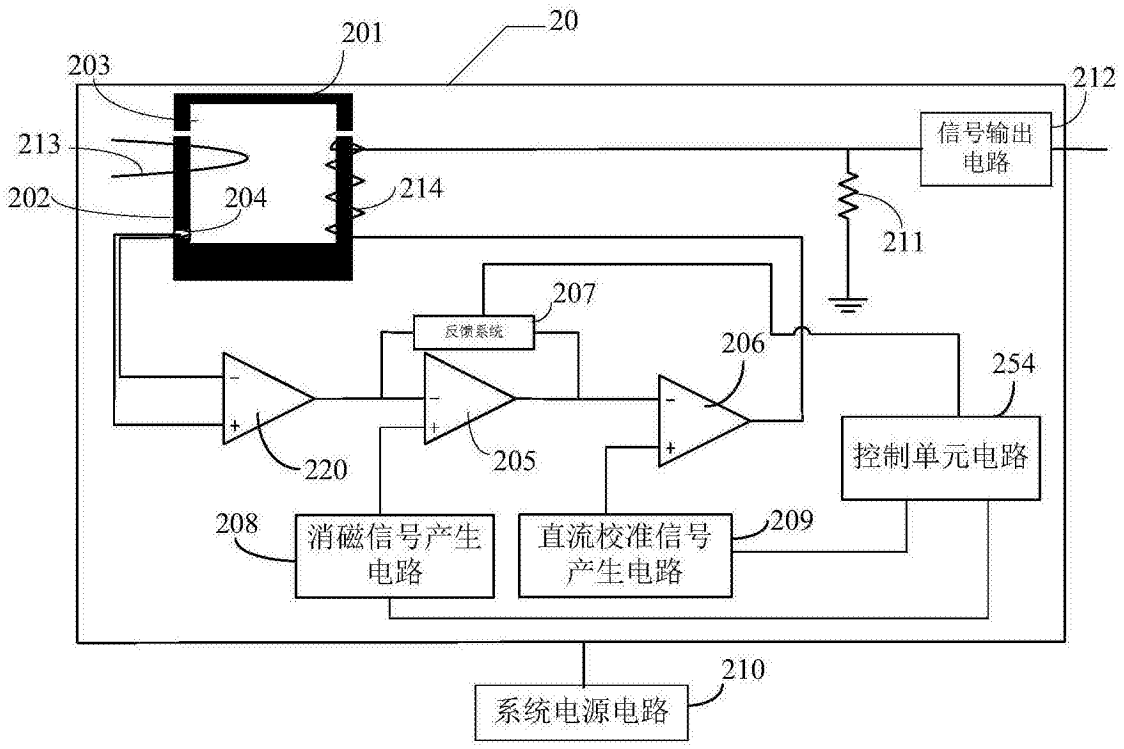

20
201
203
212
213
信号输出电路
202
204
214
211
207
反馈系统
206
254
220
205
控制单元电路
208
消磁信号产生电路
直流校准信号产生电路
209
210
系统电源电路

图3

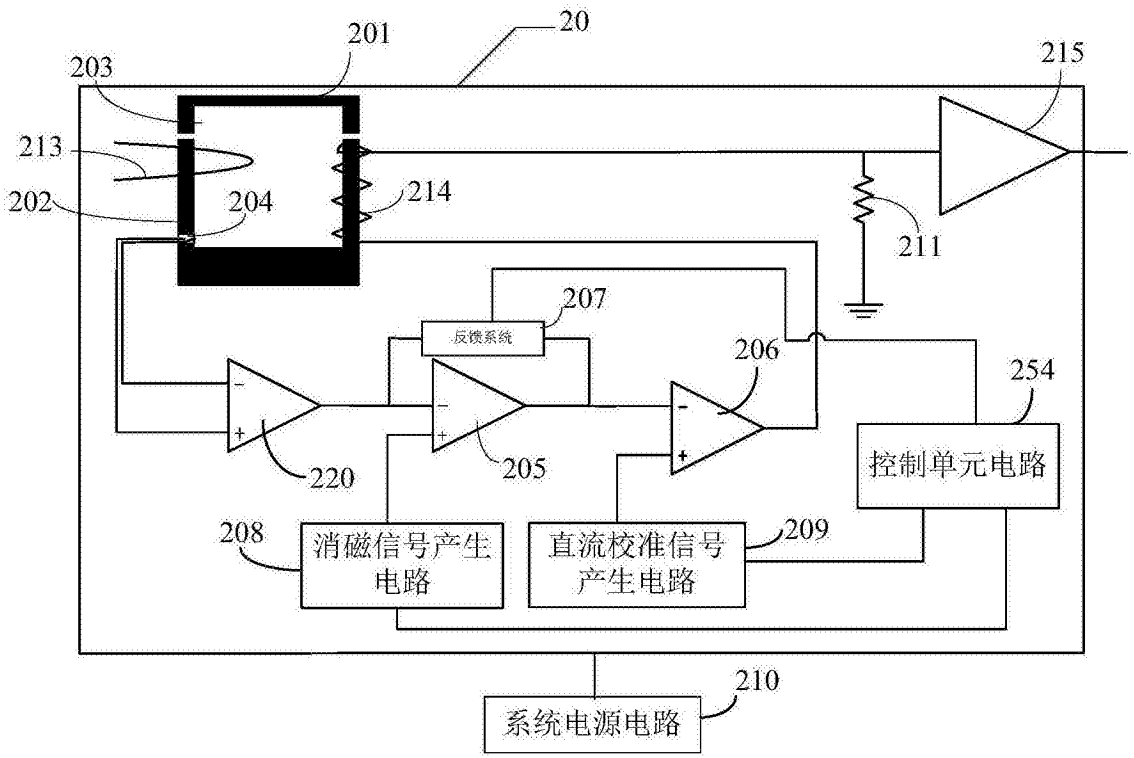

20
201
203
215
213
202
204
214
211
207
反馈系统
206
254
220
205
控制单元电路
208
消磁信号产生电路
直流校准信号产生电路
209
210
系统电源电路

图4

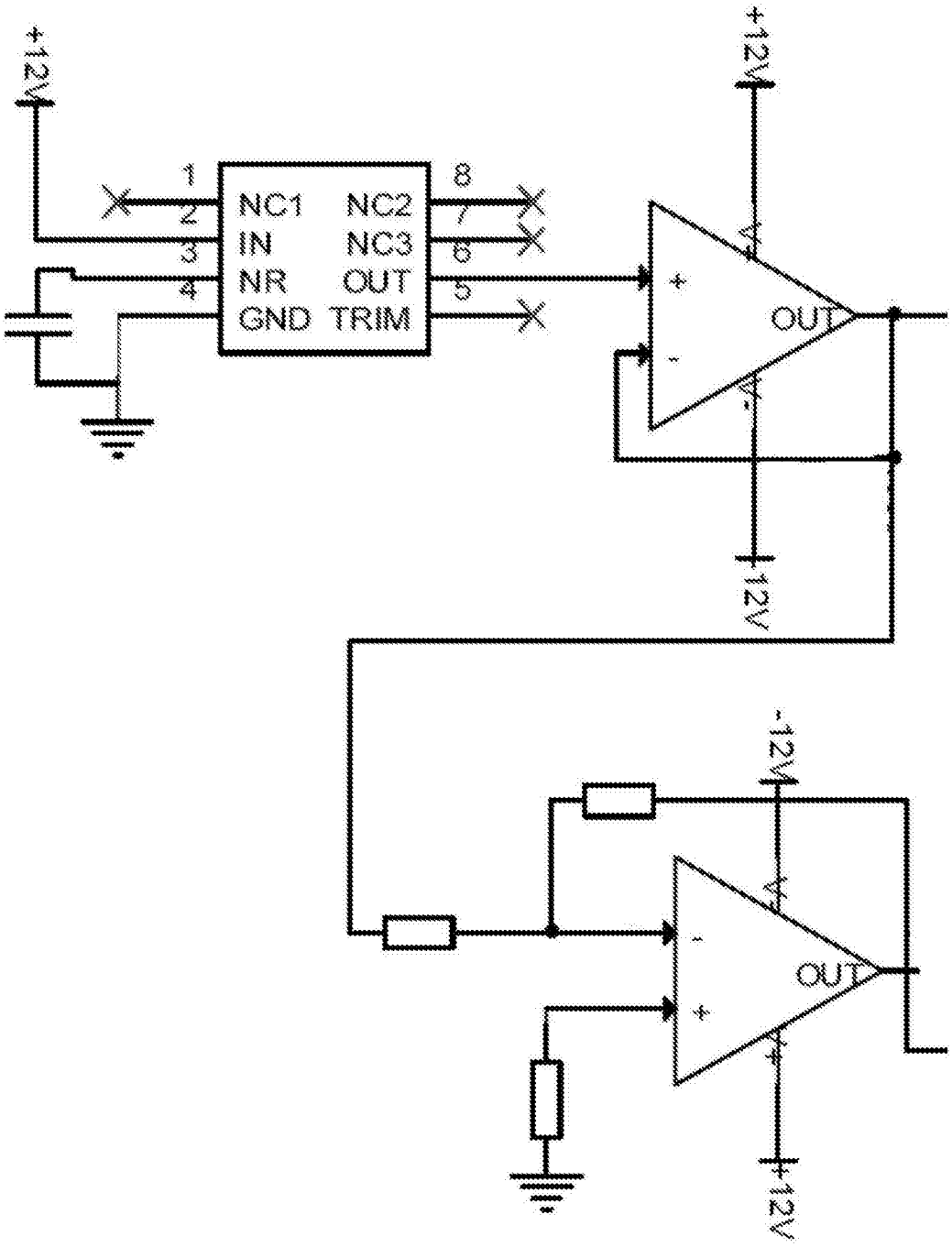

+12V
1
2
3
4
NC1
IN
NR
GND
NC2
NC3
OUT
TRIM
8
7
6
5
+12V
OUT
-12V
-12V
OUT
+12V

图5

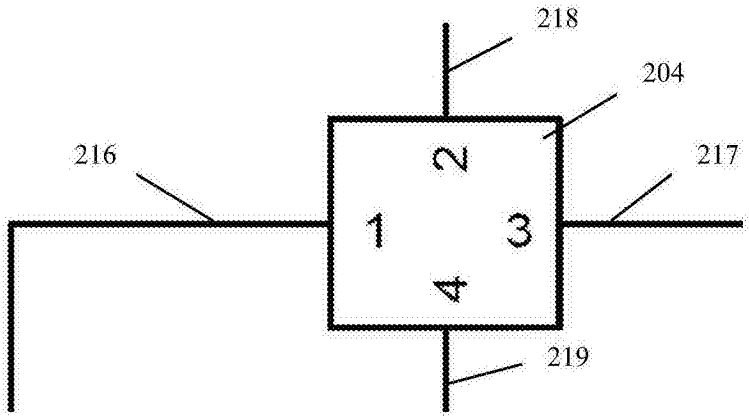


图6

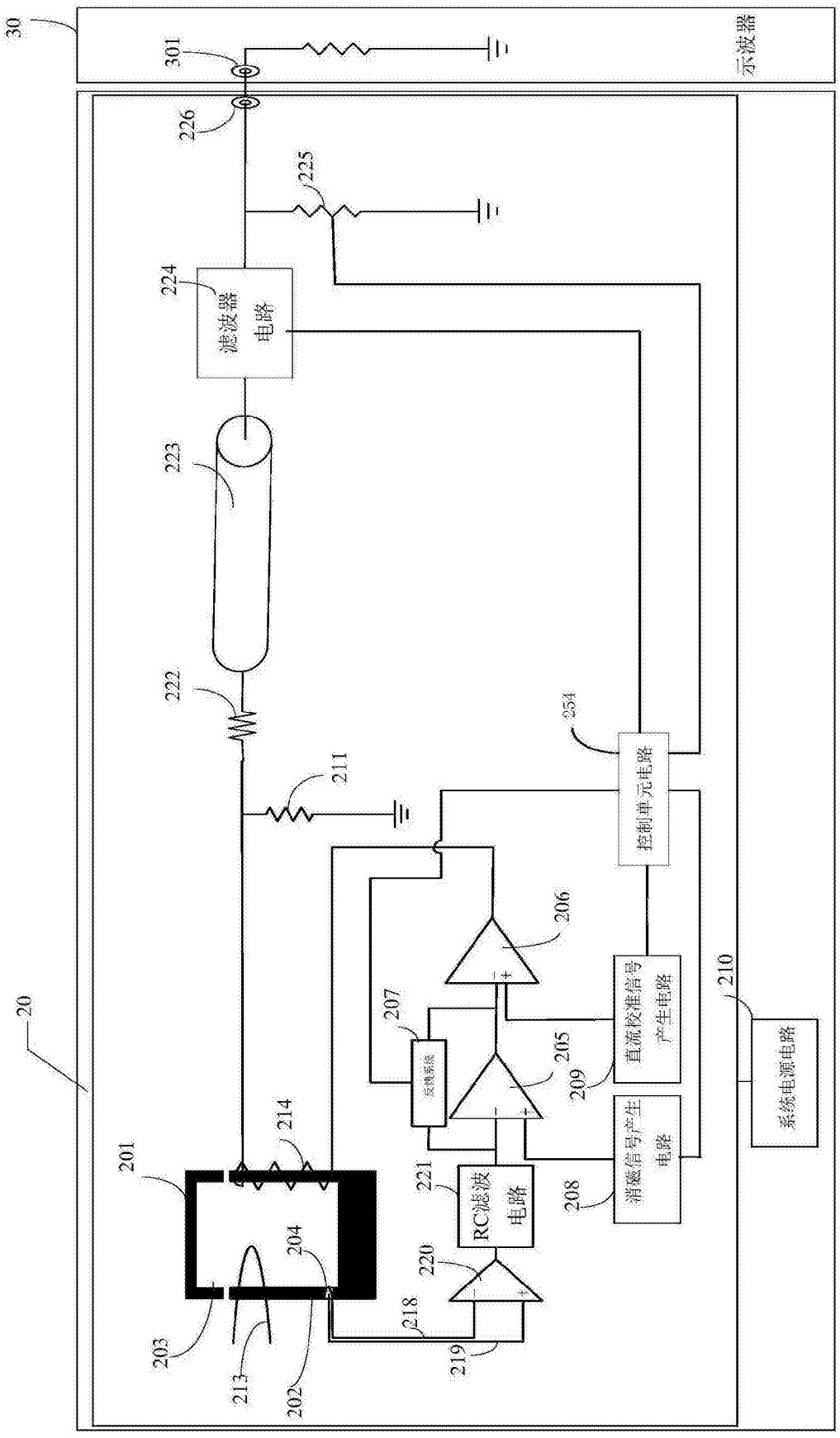

30
示波器
301
226
225
224
滤波器电路
223
222
211
254
控制单元电路
206
207
反馈系统
205
209
直流校准信号产生电路
210
系统电源电路
20
214
201
221
RC滤波电路
208
消磁信号产生电路
204
220
218
203
213
202
219

图7

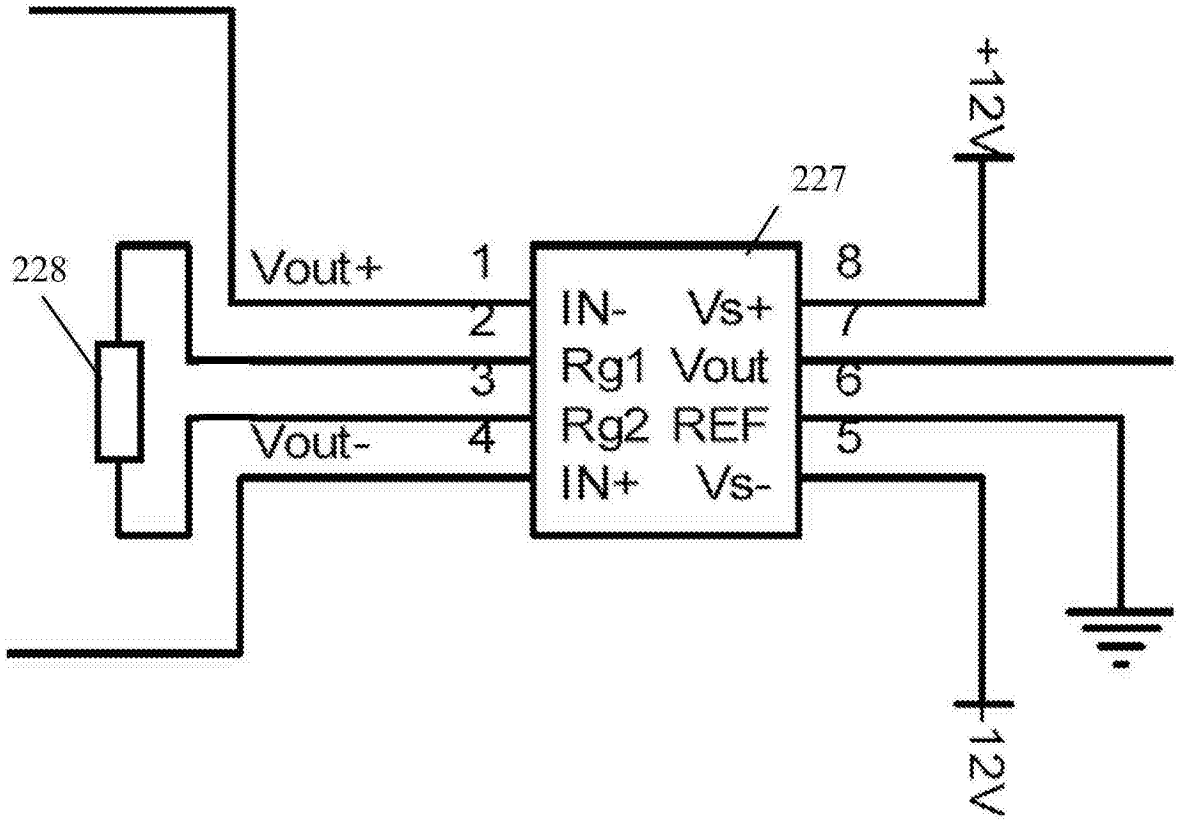

+12V
227
228
Vout+
1
8
IN-
Vs+
2
7
Rg1
Vout
3
6
Rg2
REF
Vout-
4
5
IN+
Vs-
-12V

图8

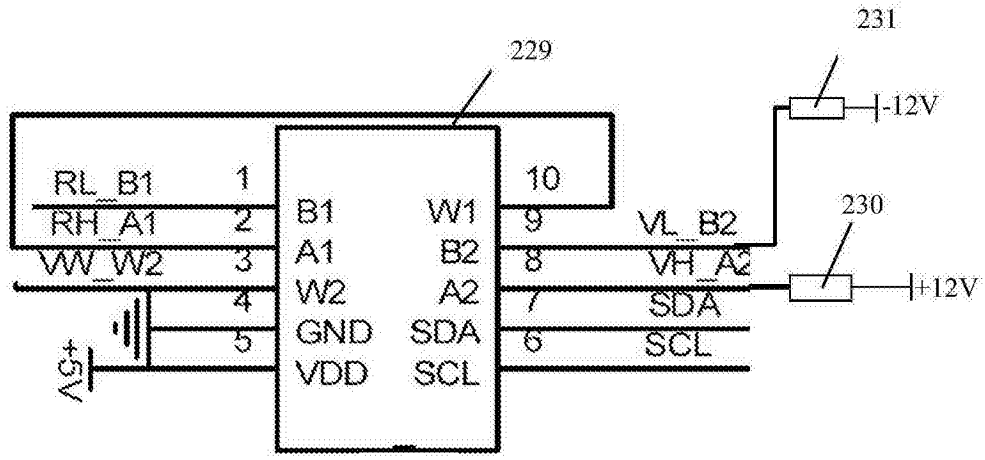

231
229
-12V
RL_B1
1
10
RH_A1
2
B1
W1
9
VL_B2
230
VW_W2
3
A1
B2
8
VH_A2
4
W2
A2
7
SDA
+12V
5
GND
SDA
6
SCL
+5V
VDD
SCL

图9

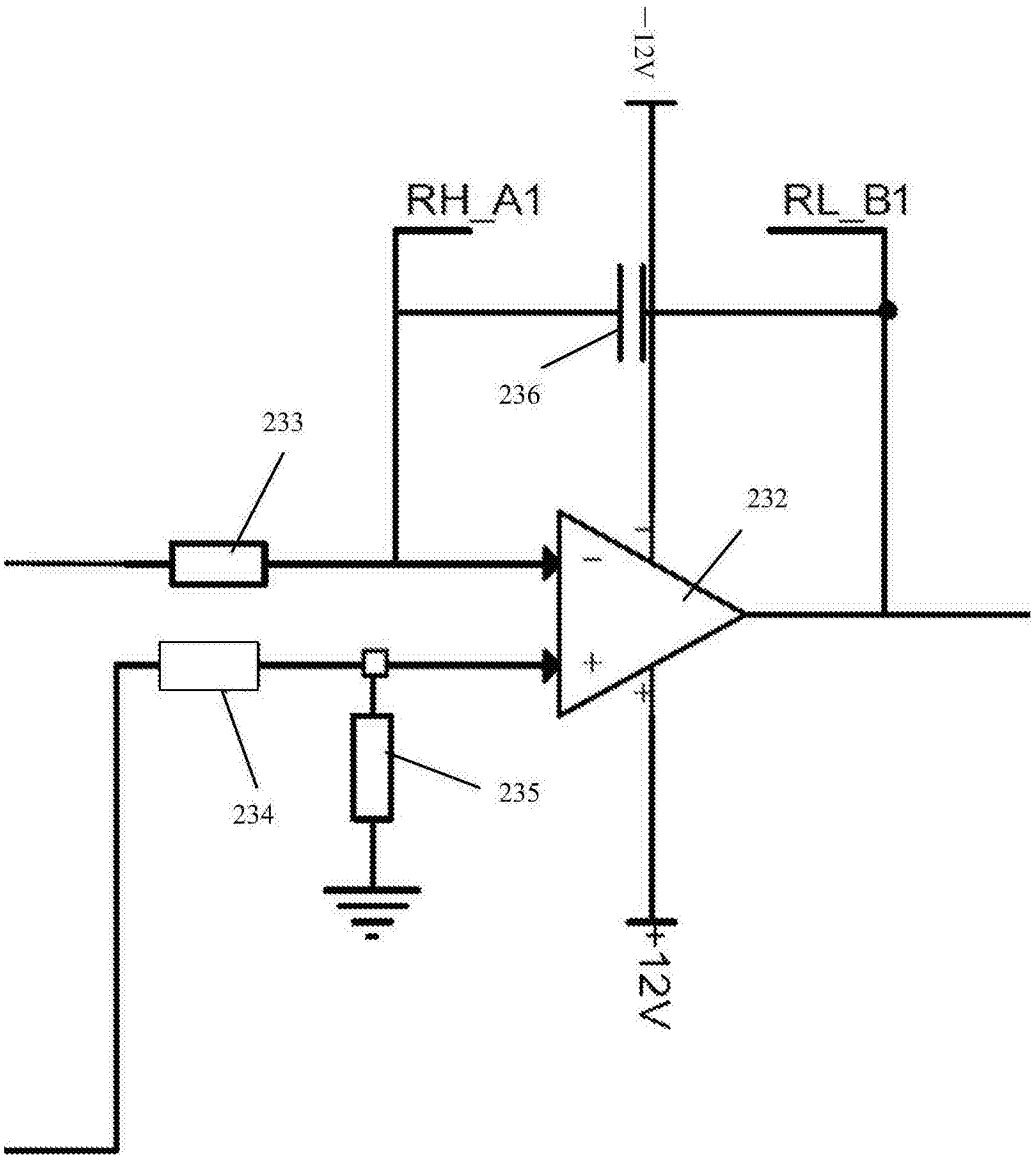


图10

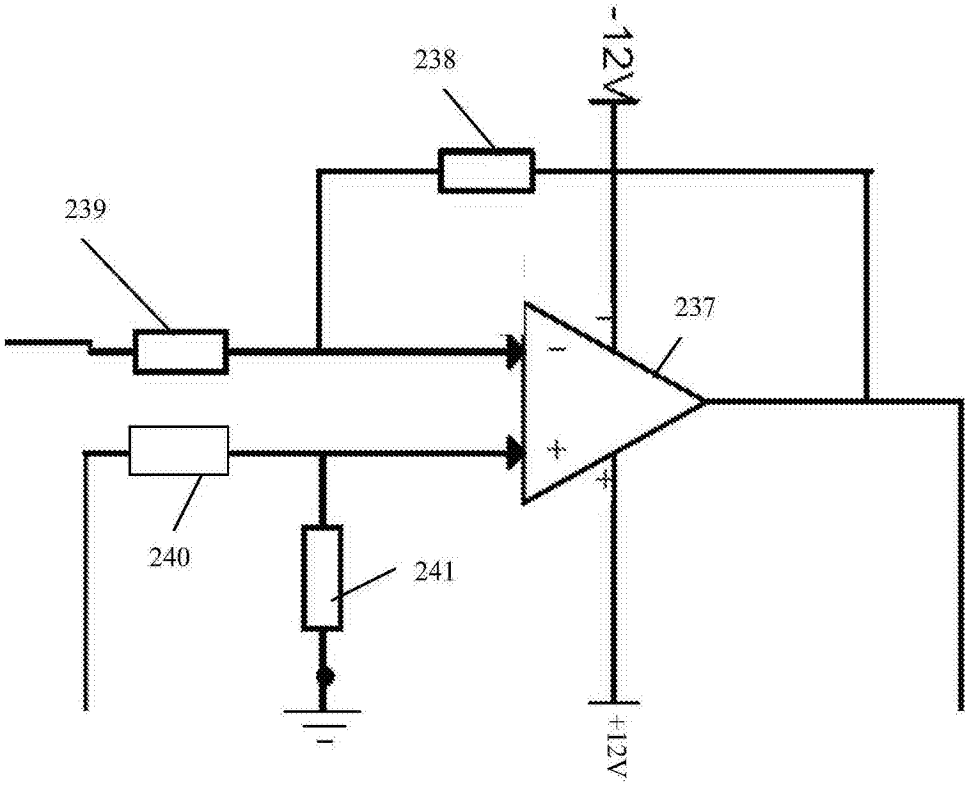


图11

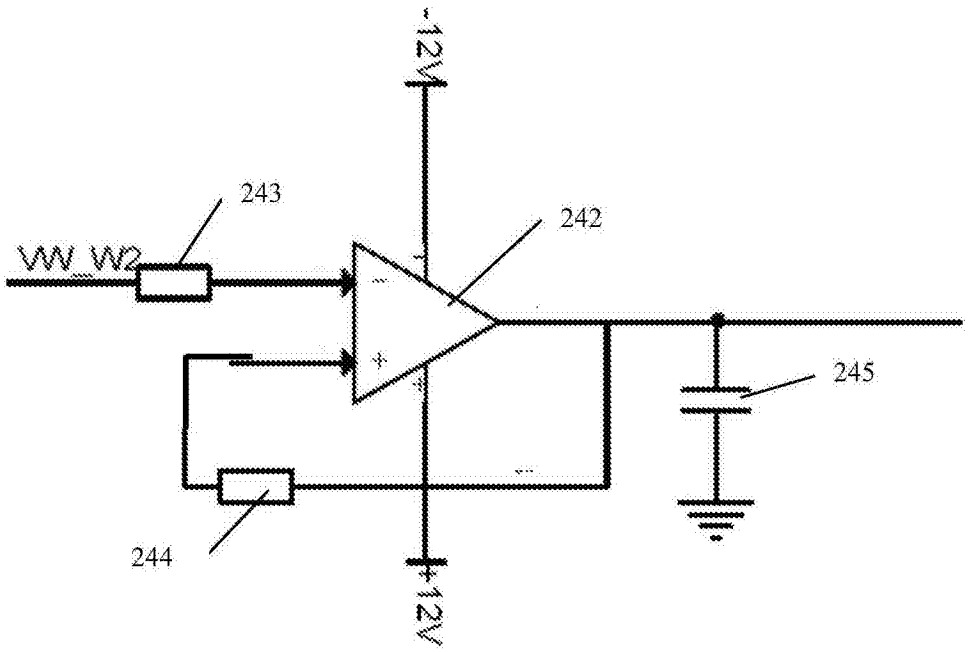


图12

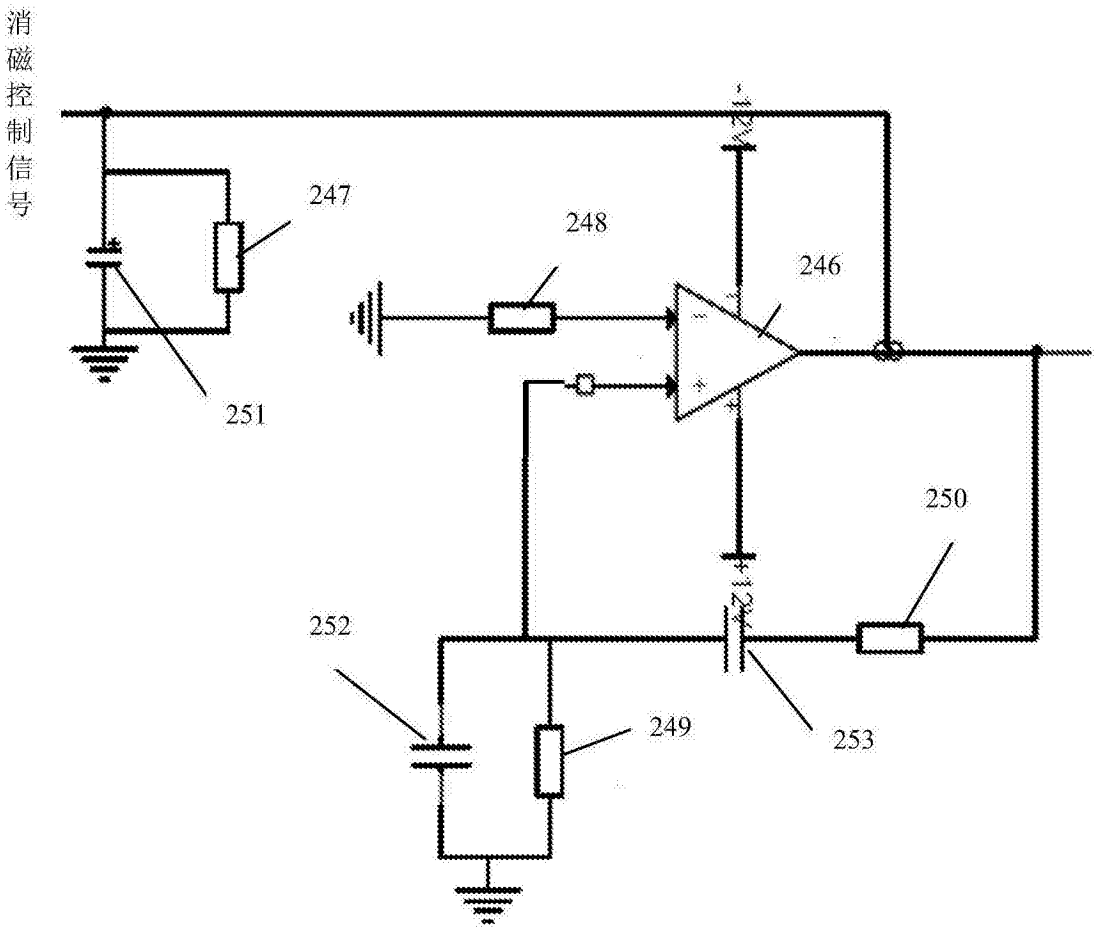


图13

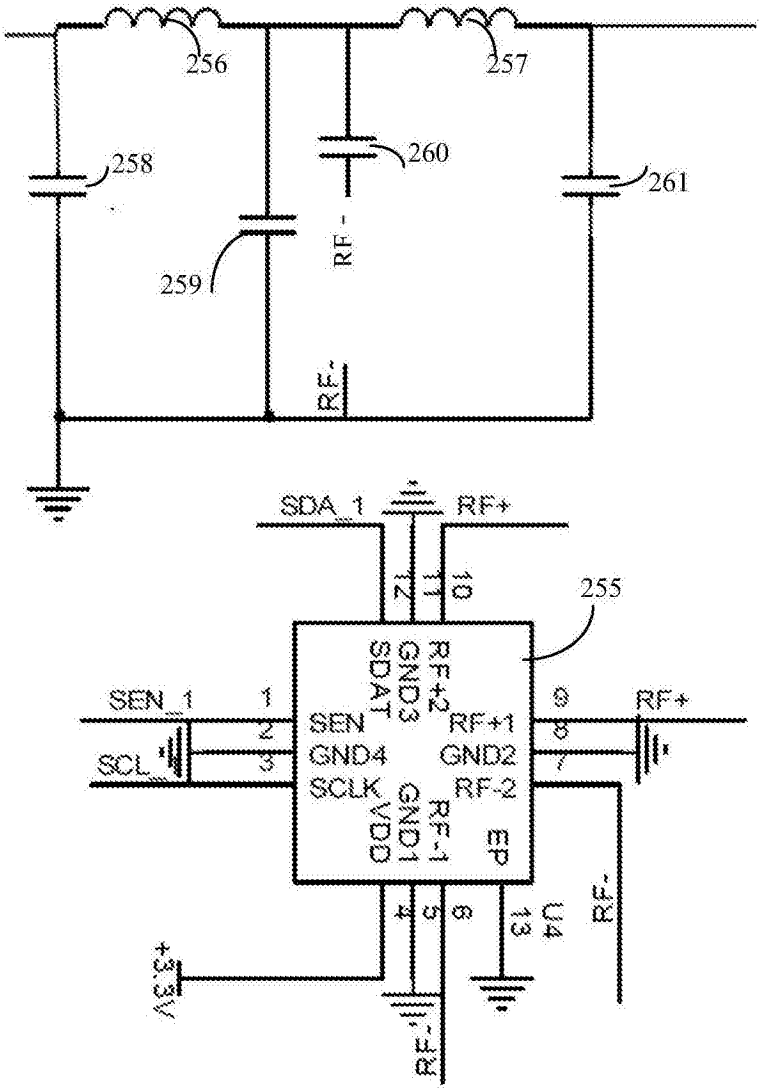

256
257
258
260
261
259
RF -
RF-
SDA_1
RF+
12
11
10
255
SEN_1
1
SEN
RF+2
GND3
SDAT
RF+1
9
RF+
2
SCL
3
GND4
SCLK
GND2
8
7
RF-2
VDD
GND1
RF-1
EP
4
5
6
U4
13
RF-
+3.3V
RF-

图14

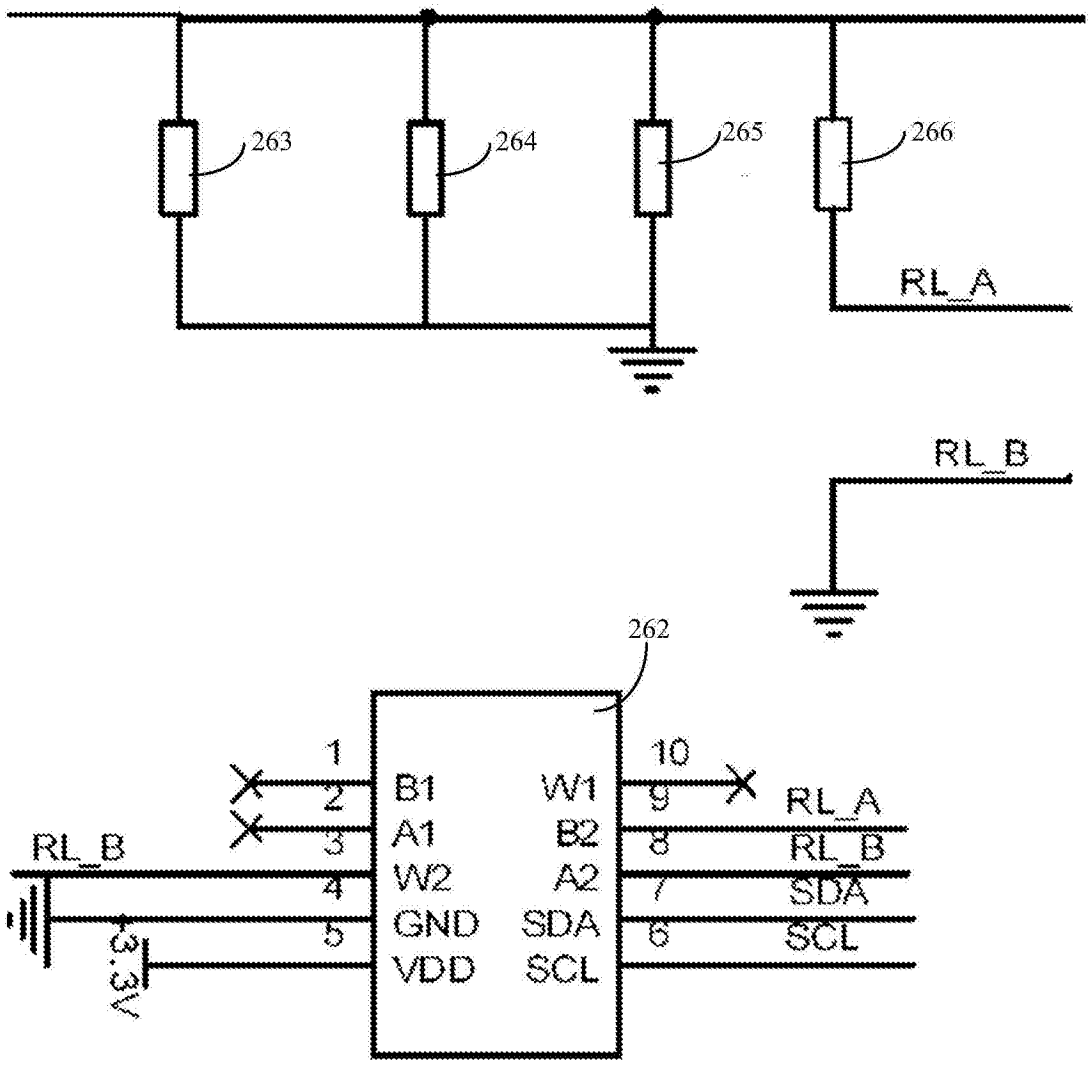

263
264
265
266
RL_A
RL_B
262
1
2
3
4
5
B1
A1
W2
GND
VDD
W1
B2
A2
SDA
SCL
10
9
8
7
6
RL_A
RL_B
SDA
SCL
RL_B
3.3V

图15

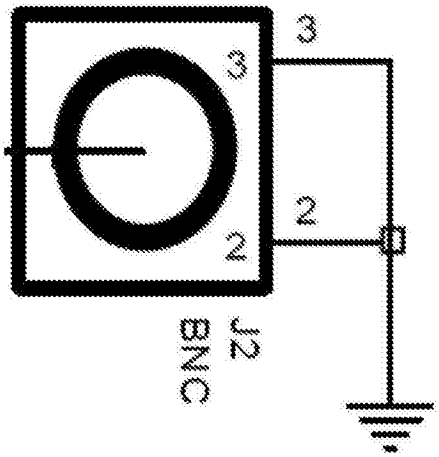

3
3
2
2
BNC
J2

图16

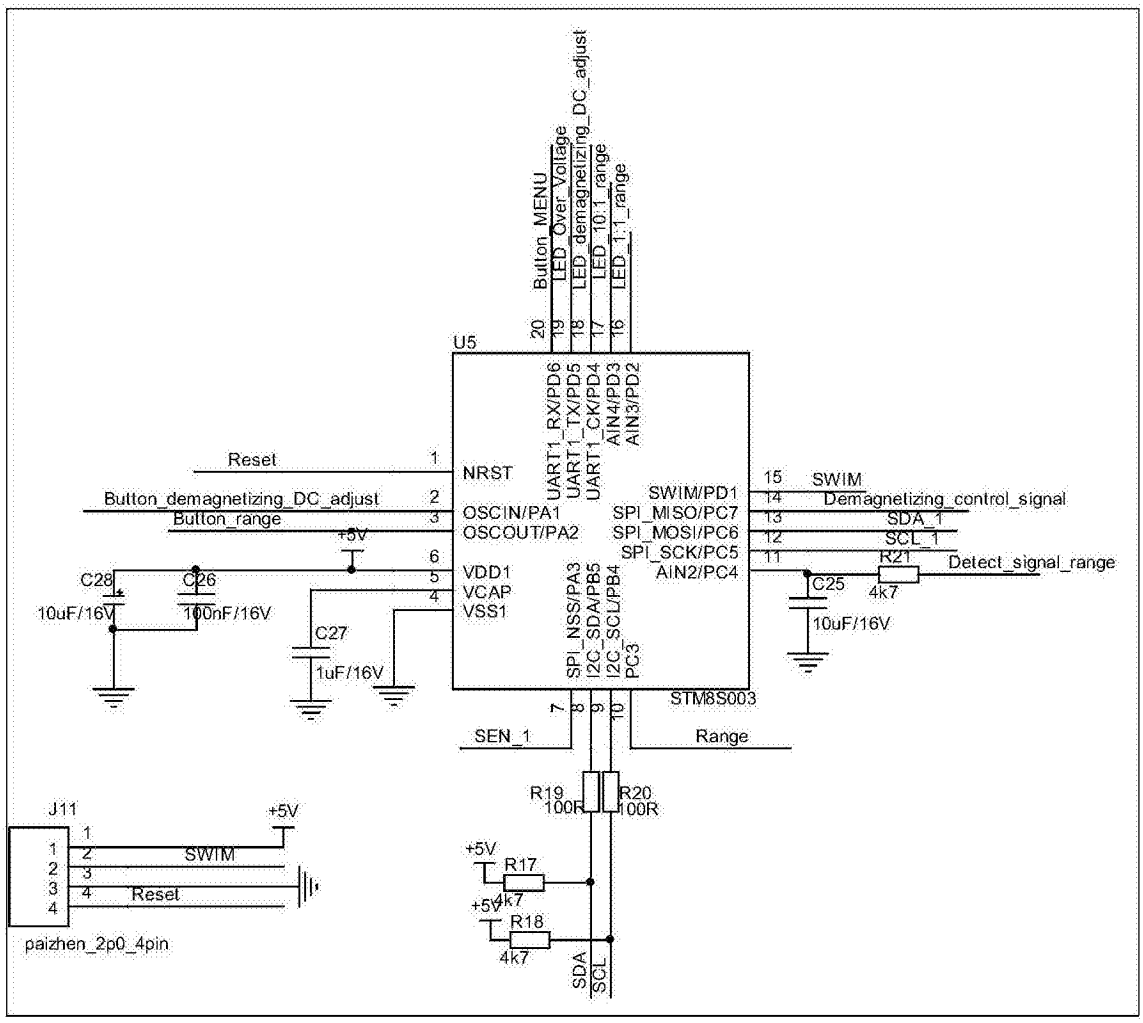

U5
Button_MENU
LED_Over_Voltage
LED_demagnetizing_DC_adjust
LED_10:1_range
LED_1:1_range
UART1_RX/PD6
UART1_TX/PD5
UART1_CK/PD4
AIN4/PD3
AIN3/PD2
Reset
NRST
Button_demagnetizing_DC_adjust
OSCIN/PA1
Button_range
OSCOUT/PA2
+5V
VDD1
VCAP
VSS1
SPI_NSS/PA3
I2C_SDA/PB5
I2C_SCL/PB4
PC3
SWIM/PD1
SPI_MISO/PC7
SPI_MOSI/PC6
SPI_SCK/PC5
AIN2/PC4
SWIM
Demagnetizing_control_signal
SDA_1
SCL_1
Detect_signal_range
STM8S003
C28
10uF/16V
C26
100nF/16V
C27
1uF/16V
C25
10uF/16V
R21
4k7
SEN_1
Range
R19
100R
R20
100R
J11
SWIM
Reset
paizhen_2p0_4pin
R17
4k7
R18
4k7
SDA
SCL

图17

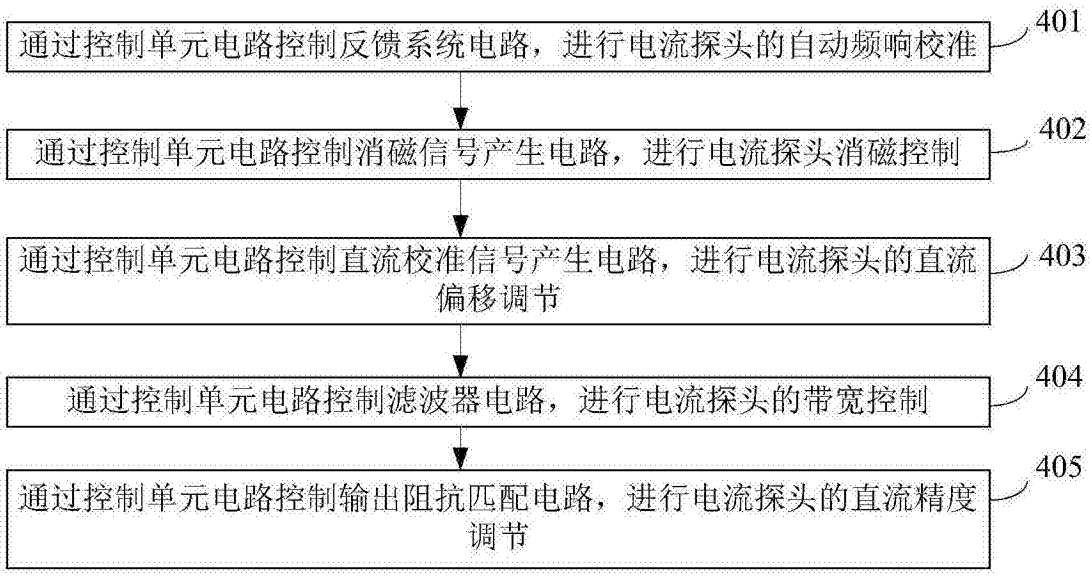

通过控制单元电路控制反馈系统电路，进行电流探头的自动频响校准
401
通过控制单元电路控制消磁信号产生电路，进行电流探头消磁控制
402
通过控制单元电路控制直流校准信号产生电路，进行电流探头的直流偏移调节
403
通过控制单元电路控制滤波器电路，进行电流探头的带宽控制
404
通过控制单元电路控制输出阻抗匹配电路，进行电流探头的直流精度调节
405

图18