



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110837057 B

(45) 授权公告日 2021.04.13

(21) 申请号 201911075339.7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2019.11.06

G01R 31/389 (2019.01)

G01R 27/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110837057 A

审查员 黄文

(43) 申请公布日 2020.02.25

(73) 专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 董明 徐广昊 胡一卓 夏昌杰

王彬 任明 谢佳成 范文杰

张崇兴 段然 马馨逸 王思云

郭晨希 宋波 庄添鑫 高旭泽

杨姝婧

(74) 专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限公司

公司 11429

代理人 覃婧婵

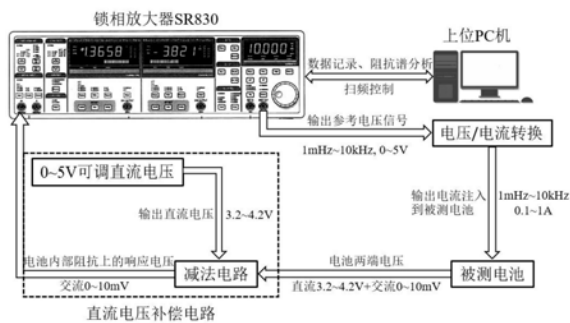
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

电池阻抗谱测量系统及测量方法

(57) 摘要

公开了电池阻抗谱测量系统及测量方法, 电池阻抗谱测量系统中, 锁相放大器配置成生成电压激励信号以及测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位, 电压电流转换电路一端连接所述锁相放大器, 另一端连接电池, 所述电压电流转换电路将所述电压激励信号转换为同频的电流激励信号以输入到电池; 直流电压补偿电路一端连接所述电池, 另一端连接所述锁相放大器, 直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器, 处理器连接所述锁相放大器, 所述处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。



CN 110837057 B

1. 一种电池阻抗谱测量系统,其包括,
锁相放大器,其配置成生成电压激励信号以及测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,注入电流与锁相放大器的参考电压同频率同相位;
电压电流转换电路,其一端连接所述锁相放大器,另一端连接电池,所述电压电流转换电路将所述电压激励信号转换为同频的电流激励信号以输入电池,其中,电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号;
直流电压补偿电路,其一端连接所述电池,另一端连接所述锁相放大器,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,
处理器,其连接所述锁相放大器,所述处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。
2. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,所述锁相放大器输出频率范围1mHz-10kHz的0-5V电压激励信号。
3. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,所述锁相放大器输出端口具有50 Ω 的输出阻抗,输出阻抗大于电池内阻。
4. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,所述电压电流转换电路包括电流运算放大器或达林顿管。
5. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,所述电压电流转换电路转换的电流幅值0.1-1A。
6. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,所述电池为锂电池。
7. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,锁相放大器经由GPIB或RS232接口连接处理器。
8. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,电池经由开尔文四端接线连接电压电流转换电路和直流电压补偿电路。
9. 如权利要求1所述的电池阻抗谱测量系统,其中,直流电压补偿电路包括可调直流电压产生电路和减法电路,所述减法电路的同相输入端与电池两端连接以接收电池两端的电压信号,减法电路的反向输入端与所述可调直流电压产生电路的输出端相连以去除电压信号的直流部分,减法电路的输出端与锁相放大器的输入端连接。
10. 一种权利要求1-9中任一项所述电池阻抗谱测量系统的测量方法,其包括以下步骤,
锁相放大器生成电压激励信号,电压激励信号经由电压电流转换电路为同频的电流激励信号以输入电池,
电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,
锁相放大器测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。

电池阻抗谱测量系统及测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电池阻抗谱测量技术领域,特别是一种电池阻抗谱测量系统及测量方法。

背景技术

[0002] 锂离子电池具有工作电压高,比能量大,自放电率低,循环性能好等优点,在民用和军用领域均有广泛的应用。同时锂离子电池的安全性问题也备受关注,爆炸起火事件时有发生,因此对锂电池的状态进行诊断并合理管控显得尤为重要。

[0003] 电化学阻抗谱(Electrochemical Impedance Spectroscopy)作为一种无损的参数测定和有效的电池动力学行为测定方法,被广泛应用于电池正负极材料、锂离子脱嵌动力学参数、SEI膜、各类电解质的研究以及电池的SOC、SOH和SOF等状态信息的评估和预测,是分析锂电池性能强有力的工具。

[0004] 通过给锂电池施加一个小幅值正弦波激励,测量响应与激励在各频率下的幅值比和相位差,即可得到被测锂电池在很宽频率范围内各个频点的阻抗值,这一系列阻抗值也就是锂电池的电化学阻抗谱。

[0005] 目前,可以对系统宽频带阻抗进行测量的产品主要有电化学工作站、频率响应分析仪、精密LCR仪等。但常规的频率响应分析仪无法测量锂电池阻抗谱中的超低频部分;LCR仪在宽频带内的阻抗测量精度不足,同时测量过程中也会受到电池自身直流电压的影响;电化学工作站成本极高,体积庞大,不便于携带,且一般的实验室中也不具有这类设备。

[0006] 在背景技术部分中公开的上述信息仅仅用于增强对本发明背景的理解,因此可能包含不构成本领域普通技术人员公知的现有技术的信息。

发明内容

[0007] 为了解决上述问题,本发明提供了电池阻抗谱测量系统及测量方法,提供了一种新的成本低,便携式,精度高,易操作的测量系统和方法。本发明的目的是通过以下技术方案予以实现。

[0008] 一种电池阻抗谱测量系统包括,

[0009] 锁相放大器,其配置成生成电压激励信号以及测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,

[0010] 电压电流转换电路,其一端连接所述锁相放大器,另一端连接电池,所述电压电流转换电路将所述电压激励信号转换为同频的电流激励信号以输入电池,其中,电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号;

[0011] 直流电压补偿电路,其一端连接所述电池,另一端连接所述锁相放大器,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,

[0012] 处理器,其连接所述锁相放大器,所述处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点

下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。

[0013] 所述的电池阻抗谱测量系统中,所述锁相放大器输出频率范围1mHz-10kHz的0-5V电压激励信号。

[0014] 所述的电池阻抗谱测量系统中,所述锁相放大器输出端口具有50 Ω 的输出阻抗,输出阻抗大于电池内阻。

[0015] 所述的电池阻抗谱测量系统中,所述电压电流转换电路包括电流运算放大器或达林顿管。

[0016] 所述的电池阻抗谱测量系统中,所述电压电流转换电路转换的电流幅值0.1-1A。

[0017] 所述的电池阻抗谱测量系统中,所述电池为锂电池。

[0018] 所述的电池阻抗谱测量系统中,锁相放大器经由GPIB或RS232接口连接处理器。

[0019] 所述的电池阻抗谱测量系统中,电池经由开尔文四端接线连接电压电流转换电路和直流电压补偿电路。

[0020] 所述的电池阻抗谱测量系统中,直流电压补偿电路包括可调直流电压产生电路和减法电路,所述减法电路的同相输入端与电池两端连接以接收电池两端的电压信号,减法电路的反向输入端与所述可调直流电压产生电路的输出端相连以去除电压信号的直流部分,减法电路的输出端与锁相放大器的输入端连接。

[0021] 根据本发明的另一方面,一种所述电池阻抗谱测量系统的测量方法包括以下步骤,

[0022] 锁相放大器生成电压激励信号,电压激励信号经由电压电流转换电路为同频的电流激励信号以输入电池,

[0023] 电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,

[0024] 锁相放大器测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0026] 本发明通过充分利用锁相放大器的性能,实现了对低至1mHz超低频信号幅值和相位的精确测量,从而实现了宽频范围内(1mHz~10kHz)锂电池阻抗的精确测量;通过调节锁相放大器的输出参考电压来调节注入电池的激励电流幅值,可实现较大的阻抗测量范围;该锂电池阻抗测量系统也具有成本低,便携化、操作简便等优点,适合对各类锂离子电池电化学阻抗谱进行测量和分析。

[0027] 上述说明仅是本发明技术方案的概述,为了能够使得本发明的技术手段更加清楚明白,达到本领域技术人员可依照说明书的内容予以实施的程度,并且为了能够让本发明的上述和其它目的、特征和优点能够更明显易懂,下面以本发明的具体实施方式进行举例说明。

附图说明

[0028] 通过阅读下文优选的具体实施方式中的详细描述,本发明各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。说明书附图仅用于示出优选实施方式的目的,

而并不认为是对本发明的限制。显而易见地,下面描述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的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。而且在整个附图中,用相同的附图标记表示相同的部件。

[0029] 在附图中:

[0030] 图1是本发明中结构示意图;

[0031] 图2是本发明中基于锁相放大器的锂电池阻抗谱测量系统接线图;

[0032] 图3是本发明中电池与系统的接线方式;

[0033] 图4是本发明中直流电压补偿模块中的0~5V可调直流电压生成模块电路原理图;

[0034] 图5是本发明中直流电压补偿模块中减法电路的电路原理图;

[0035] 图6是本发明中基于锁相放大器的锂电池阻抗谱测量流程图。

[0036] 以下结合附图和实施例对本发明作进一步的解释。

具体实施方式

[0037] 下面将参照附图1至图6更详细地描述本发明的具体实施例。虽然附图中显示了本发明的具体实施例,然而应当理解,可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本发明,并且能够将本发明的范围完整的传达给本领域的技术人员。

[0038] 需要说明的是,在说明书及权利要求当中使用了某些词汇来指称特定组件。本领域技术人员应可以理解,技术人员可能会用不同名词来称呼同一个组件。本说明书及权利要求并不以名词的差异来作为区分组件的方式,而是以组件在功能上的差异来作为区分的准则。如在通篇说明书及权利要求当中所提及的“包含”或“包括”为一开放式用语,故应解释成“包含但不限于”。说明书后续描述为实施本发明的较佳实施方式,然所述描述乃以说明书的一般原则为目的,并非用以限定本发明的范围。本发明的保护范围当视所附权利要求所界定者为准。

[0039] 为便于对本发明实施例的理解,下面将结合附图以具体实施例为例做进一步的解释说明,且各个附图并不构成对本发明实施例的限定。

[0040] 为了更好地理解,如图1所示,一种电池阻抗谱测量系统包括,

[0041] 锁相放大器,其配置成生成电压激励信号以及测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,

[0042] 电压电流转换电路,其一端连接所述锁相放大器,另一端连接电池,所述电压电流转换电路将所述电压激励信号转换为同频的电流激励信号以输入电池,其中,电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号;

[0043] 直流电压补偿电路,其一端连接所述电池,另一端连接所述锁相放大器,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,

[0044] 处理器,其连接所述锁相放大器,所述处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。

[0045] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,所述锁相放大器输出频率范围1mHz-10kHz的0-5V电压激励信号。

[0046] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,所述锁相放大器输出端口具有 $50\ \Omega$ 的输出阻抗,输出阻抗大于电池内阻。

[0047] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,所述电压电流转换电路包括电流运算放大器或达林顿管。

[0048] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,所述电压电流转换电路转换的电流幅值 $0.1\sim 1\text{A}$ 。

[0049] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,所述电池为锂电池。

[0050] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,锁相放大器经由GPIB或RS232接口连接处理器。

[0051] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,电池经由开尔文四端接线连接电压电流转换电路。

[0052] 所述的电池阻抗谱测量系统的优选实施例中,直流电压补偿电路包括可调直流电压产生电路和减法电路,所述减法电路的同相输入端与电池两端连接以接收电池两端的电压信号,减法电路的反向输入端与所述可调直流电压产生电路的输出端相连以去除电压信号的直流部分,减法电路的输出端与锁相放大器的输入端连接。

[0053] 为了进一步理解本发明,在一个实施例中,图1至图2所示,测量系统包括:

[0054] 锁相放大器SR830,其输出端与电压电流转换模块连接,向其输入频率范围 $1\text{mHz}\sim 10\text{kHz}$,幅值 $0\sim 5\text{V}$ 的电压信号,其输入端与直流电压补偿电路的输出端连接,用于测量电池上的响应信号。同时锁相放大器通过GPIB或RS232接口与上位机相连,用于接收上位机发来的指令信号。

[0055] 电压电流转换模块,其输入端与锁相放大器的输出连接,用于接收锁相放大器输出的参考电压信号,其输出端与被测电池连接,用于向被测电池注入激励电流,激励电流的幅值范围为 $0.1\sim 1\text{A}$;

[0056] 被测电池,采用开尔文四端接线法与测量系统相连,该接线方式可大大减小引线电阻和接触电阻给阻抗测量带来的影响;

[0057] 直流电压补偿模块,由 $0\sim 5\text{V}$ 可调直流电压产生电路和减法电路组成,减法电路的同相输入端与电池两端连接,用于接收电池两端的电压信号,减法电路的反向输入端与 $0\sim 5\text{V}$ 可调直流电压产生电路的输出端相连,最终减法电路的输出中不再有直流成分,只留有电池内部阻抗上的交流响应电压。该输出与锁相放大器的测量输入端连接,该交流响应电压由锁相放大器进行测量。

[0058] 上位PC机,通过GPIB或RS232接口与锁相放大器SR830相连,用于进行测量参数的初步设置,扫频过程的控制,数据的记录以及阻抗谱的分析。

[0059] 本发明中,锁相放大器SR830,电压电流转换模块,被测电池,直流电压补偿模块共同构成了测量系统的回路。

[0060] 图1至图2所示,锁相放大器参考电压输出通道有 $50\ \Omega$ 输出阻抗,而电池的内部阻抗非常小,若直接将锁相放大器的输出与电池两端相连,激励电压无法有效施加在电池上,故采用图2所示电路,该电路可将锁相放大器的输出电压转换为电流后,对电池进行注入,且该电流的幅值只与参考电压,也就是锁相放大器输出电压的幅值和采样电阻的阻值有关,而与负载的大小无关。因此该电路也相当于一个交流恒流源,无论电池的阻抗如何波

动,其输出电流的大小均不受影响。这种设计可以大大提升测量精度,也为阻抗的分析计算提供了便利。

[0061] 该电路输出的注入电流幅值具体计算公式如下:

$$[0062] \quad I_m = (V_1 - V_2) / R_s = -V_{in} / R_s$$

[0063] 由于注入电流可能需要有较大的幅值,为防止器件或电路板烧毁,U3部分不能采用普通的运算放大器或三极管,需要使用大电流运放或达林顿管,实现功率放大,这里给出了一种方案,采用的是大电流运放OPA544。

[0064] 注入电流与锁相放大器的参考电压同频率同相位。

[0065] 图3示出了被测电池与测量系统的连接方式。采用开尔文四端接线法。电流注入端的接线和电压测量端的接线均与电池电极表面紧密相连,采用该种接线方式,可以大大减小引线阻抗和接触阻抗带来的阻抗测量误差。

[0066] 图4示出了直流电压补偿模块中0~5V直流电压产生电路的电路原理图。该电路可通过改变变阻器R1的阻值,在0~5V范围内调节该电路的输出电压。该电路的输出端与图5中减法电路的反向输入端相连。

[0067] 图5示出了直流电压补偿模块中减法电路的电路图。在本实例中,该电路采用了低噪声仪表放大器INA828,仪表放大器的同相输入端接电池正极,电池负极接地。最终通过调节R1的阻值,可使减法电路的输出为一个无直流偏置的小幅值正弦波,而该正弦波正是电池内部阻抗上与注入电流对应的响应电压。同时,该电路可通过调整R4的阻值来调整输出增益放大倍数。

[0068] 图4和图5中的两个电路共同构成了直流电压补偿模块。

[0069] 当正弦激励电流注入被测电池后,如图1所示,电池两端电压为正弦小幅值电压和电池本身较大的直流电压的叠加。锁相放大器的测量输入端有直流和交流两种耦合方式可供选择。采用交流耦合对该信号进行测量时,信号频率在10Hz以上测量结果较为精确,而信号频率低于10Hz时,测量结果会有严重的幅值和相位误差,这是由于交流耦合相当于一个高通滤波器,信号频率过低时,仪器无法区分出直流信号和低频信号。若采用直流耦合进行测量,电池本身的直流电压会使得被测电压超出锁相放大器的量程。

[0070] 直流电压补偿模块可用于解决上述问题,电池两端电压通过该模块后,只剩下与激励频率相同的交流成分,该交流电压经过后级放大到与参考电压近似处于同一数量级后,由锁相放大器的测量输入端进行测量,耦合方式选择直流耦合。

[0071] 在一个实施例中,测量系统包括:

[0072] 锁相放大器,其用于输出1mHz~10kHz的宽频参考电压信号,并对电池两端产生的宽频响应电压进行精确的幅值和相位测量;

[0073] 电压电流转换电路,其用于将锁相放大器输出的宽频电压转换为宽频电流信号后注入到被测电池;

[0074] 直流电压补偿电路,其用于去除电池两端电压信号中的直流偏置,使输入到锁相放大器中的信号只剩下交流成分,同时该电路可以调节后级输出放大倍数,使得输入到锁相放大器的待测电压幅值与参考电压幅值处于同一数量级,这样可以充分发挥锁相放大器自身的功能,提高测量精度。

[0075] 上位PC机,其用于对锁相放大器的扫频进行控制,同时对每个频点下锁相放大器

测量到的信号的幅值和相位进行记录,根据记录得到的数据绘制电池的电化学阻抗谱图,并可根据得到的阻抗谱图对电池状态进行初步的分析。

[0076] 一种所述电池阻抗谱测量系统的测量方法包括以下步骤,

[0077] 锁相放大器生成电压激励信号,电压激励信号经由电压电流转换电路为同频的电流激励信号以输入电池,

[0078] 电池基于所述电流激励信号产生响应电压信号,直流电压补偿电路去除电池的响应电压信号中的直流偏置且放大响应电压信号以输入到锁相放大器,

[0079] 锁相放大器测量电池两端的响应电压信号以得到所述响应电压信号的幅值和相位,处理器对锁相放大器扫频且记录每个频点下所述响应电压信号的幅值和相位以生成电池的电化学阻抗谱图。

[0080] 测量系统用于测量锂离子电池在不同激励频率下的幅值和相位,绘制电池的宽频带阻抗谱图,并对得到的阻抗谱图进行分析,得到被测电池的状态信息。本发明用锁相放大器的参考信号输出端口给电池施加激励,并利用锁相放大器的测量端口测量电池在激励下的响应。其中,电压电流转换电路通过负反馈实现了稳定输出电流的目的,相当于一个交流恒流源,即该电路输出电流的幅值仅与输入参考电压的幅值有关,与负载的大小无关。本发明测量频带宽,测量精度高,可有效替代电化学工作站对锂电池进行阻抗谱的精准测量。

[0081] 在优选实施方式中,测量方法包括如下步骤:

[0082] 步骤1:利用搭建的测量系统,任意测量待测电池在几个频点下的阻抗幅值,对其阻抗幅值的范围进行初步估计;

[0083] 步骤2:根据估计得到的阻抗幅值,设置锁相放大器参考电压的幅值,使得流过电池的激励电流可使其产生幅值略低于10mV的电压响应。因为当响应电压幅值低于10mV时,可近似认为被测锂电池仍为一个线性的电化学系统,而只有在线性条件下,测得的阻抗谱才有意义。但该响应电压的幅值也不能太小,否则在环境噪声的影响下,测量精度会降低。

[0084] 步骤3:调整直流电压补偿电路中输出级的增益放大倍数,使得输入到锁相放大器的待测电压与其参考电压大致处于同一数量级。若被测电压与参考电压幅值相差太多,锁相放大器在乘法器环节会出现较大误差,影响测量精度,严重时示数无法稳定,也就无法完成幅值和相位的测量。

[0085] 步骤4:在PC端设置扫频范围和步进频率。

[0086] 步骤5:在每个频点下,先判断波形是否稳定,若稳定,则记录下波形的幅值和相位,不稳定,则在相同激励频率下持续进行扫描。如此循环,如图6所示。最终得到所有频点下的幅值和相位信息,进而得到被测电池的电化学阻抗谱;

[0087] 步骤6:根据测量得到的数据进行阻抗谱分析,进而得到待测电池的状态信息。

[0088] 本发明基于锁相放大器的锂电池阻抗谱测量系统,通过充分利用锁相放大器的性能,实现了对低至1mHz超低频信号幅值和相位的精确测量,从而实现了宽频范围内(1mHz~10kHz)锂电池阻抗的精确测量;通过调节锁相放大器的输出参考电压来调节注入电池的激励电流幅值,实现了较大的阻抗测量范围;该锂电池阻抗测量系统也具有成本低,便携化、操作简便等优点,适合对各类锂离子电池电化学阻抗谱进行测量和分析,可有效替代高成本、大体积的电化学工作站,实现阻抗谱精确测量的功能。

[0089] 工业实用性

[0090] 本发明所述的电池阻抗谱测量系统电池阻抗谱测量系统及测量方法可以在电池阻抗领域制造并使用。

[0091] 以上结合具体实施例描述了本申请的基本原理,但是,需要指出的是,在本申请中提及的优点、优势、效果等仅是示例而非限制,不能认为这些优点、优势、效果等是本申请的各个实施例必须具备的。另外,上述公开的具体细节仅是为了示例的作用和便于理解的作用,而非限制,上述细节并不限制本申请为必须采用上述具体的细节来实现。

[0092] 为了例示和描述的目的已经给出了以上描述。此外,此描述不意图将本申请的实施例限制到在此公开的形式。尽管以上已经讨论了多个示例方面和实施例,但是本领域技术人员将认识到其某些变型、修改、改变、添加和子组合。

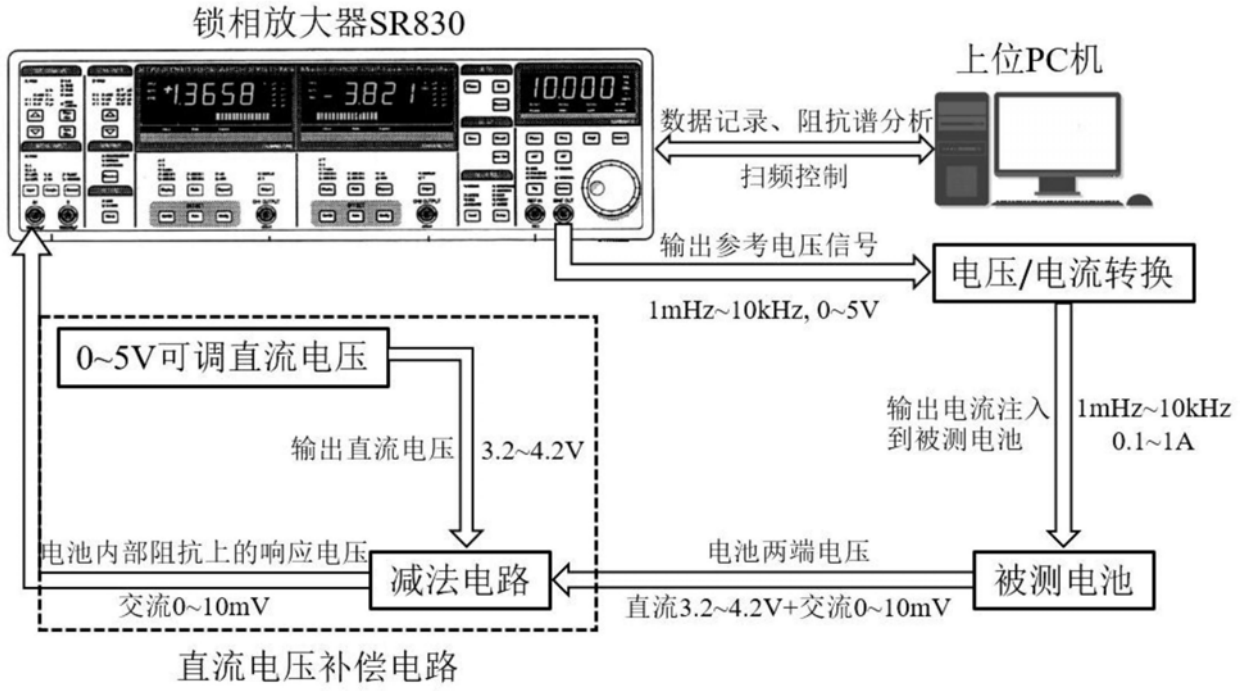


图1

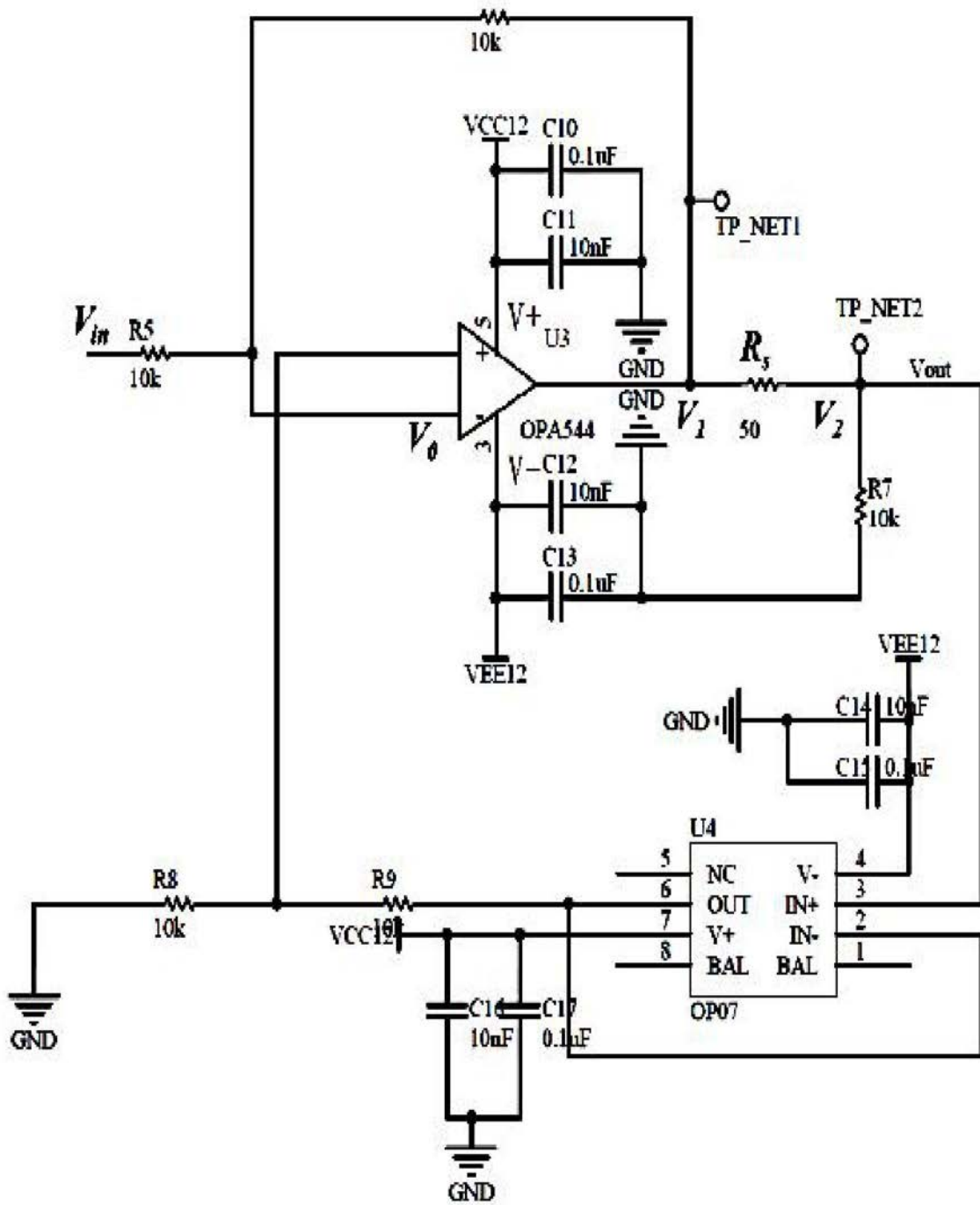


图2

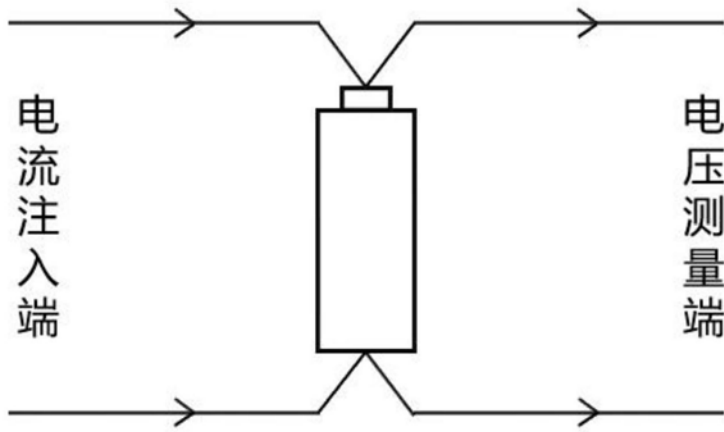


图3

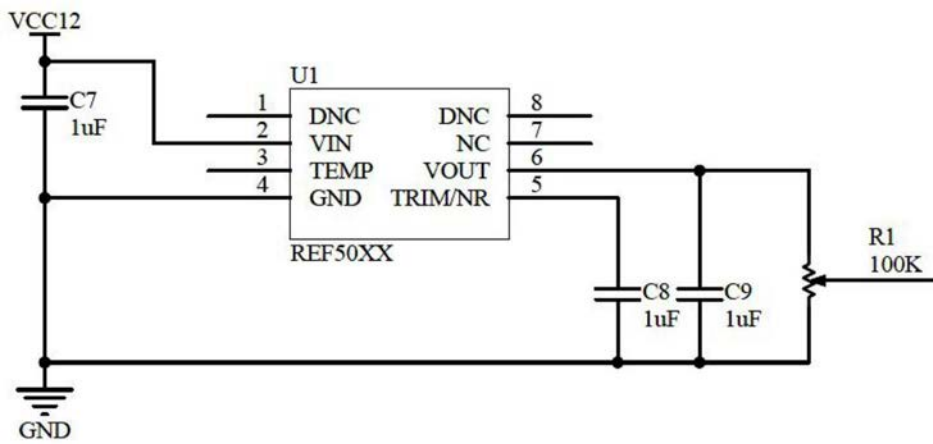


图4

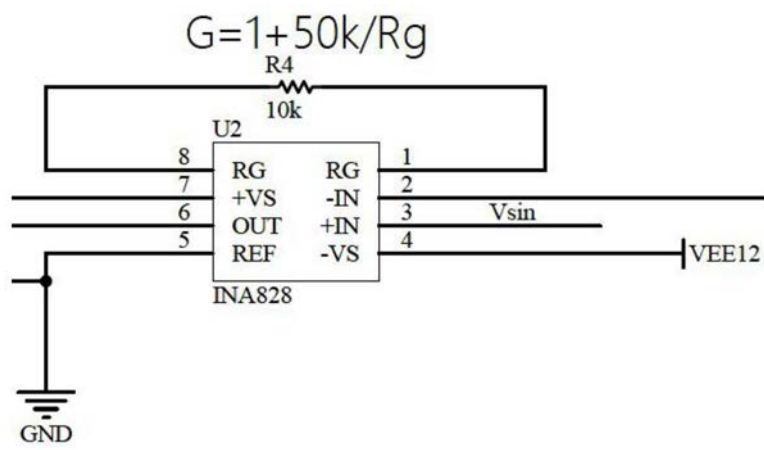


图5

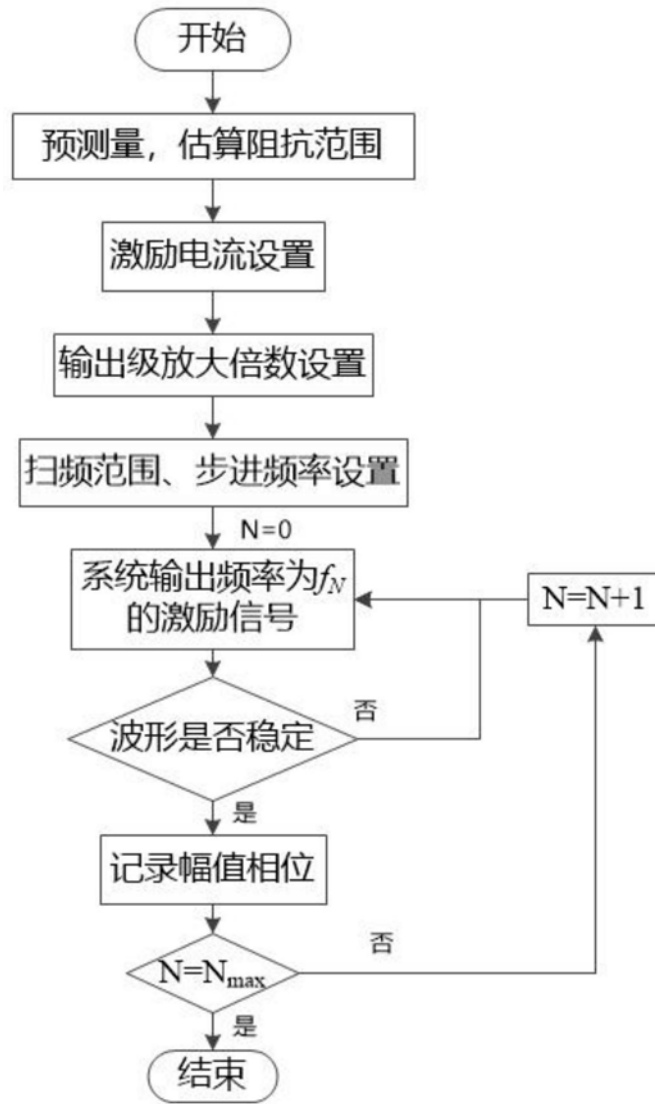


图6