



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108663631 B

(45) 授权公告日 2020.12.25

(21) 申请号 201810469418.5

CN 107607880 A, 2018.01.19

(22) 申请日 2018.05.16

CN 202498045 U, 2012.10.24

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106771634 A, 2017.05.31

申请公布号 CN 108663631 A

CN 1967270 A, 2007.05.23

(43) 申请公布日 2018.10.16

CN 106970266 A, 2017.07.21

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

WO 2015123304 A1, 2015.08.20

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西  
大直街92号

DE 102015105207 A1, 2015.10.22

US 2018059191 A1, 2018.03.01

(72) 发明人 吕超 张滔 刘海洋

韩晓丽. 锂离子电池电化学阻抗谱测量方法的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2012,

(74) 专利代理机构 哈尔滨华夏松花江知识产权  
代理有限公司 23213

Peter A. Lindahl等. A Time-Domain Least Squares Approach to Electrochemical Impedance Spectroscopy.《IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT》.2012, 第61卷(第12期),

代理人 岳昕

审查员 彭鼎原

(51) Int. Cl.

G01R 31/389 (2019.01)

(56) 对比文件

CN 106872905 A, 2017.06.20

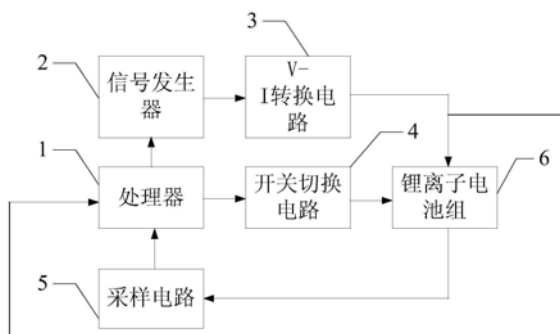
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置

(57) 摘要

一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,涉及锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量领域。本发明是为了解决现有采用交流阻抗法对锂离子电池的电化学阻抗谱进行测量,该测量方法需要专用的测试设备,测试周期较长,难以实现系统内的集成和在线测量的问题。处理器,用于将各频率的正弦波进行分组,将分组后的各频率的正弦波分别加载到最低频正弦信号的不同区段;通过信号发生器得到电压激励信号;开关切换电路使切换选择的锂离子电池单体接收不同区段的电流激励信号;V-I转换电路将电压激励信号转化为电流激励信号;采样电路获得不同区段的响应电压信号;处理器还用于对响应电压信号进行快速傅氏变换,得到阻抗谱。用于测量锂离子电池组阻抗谱。



1. 一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,其特征在于,所述装置包括处理器(1)、信号发生器(2)、V-I转换电路(3)、开关切换电路(4)和采样电路(5),

处理器(1),用于将各频率的正弦波进行分组,将分组后的各频率的正弦波分别加载到最低频正弦信号的不同区段;

以频率为 $\omega_0$ 的正弦基波为基础,从 $\omega_1$ 到 $\omega_n$ 分为m组,分别叠加在频率为 $\omega_0$ 的正弦基波的 $t_{1s} \sim t_{1e}, t_{2s} \sim t_{2e} \dots t_{ms} \sim t_{me}$ 段;所述 $\omega_0$ 表示第1个正弦波的频率, $\omega_1$ 表示第2个正弦波的频率, $\omega_n$ 表示第n+1个正弦波的频率;

信号发生器(2),用于得到加载后的不同区段的电压激励信号;

处理器(1),还用于控制开关切换电路(4)的切换;

开关切换电路(4),用于对不同锂离子电池单体进行切换,使切换选择的锂离子电池单体接收不同区段的电流激励信号;

V-I转换电路(3),用于将所述的不同区段的电压激励信号分别转化为电流激励信号;

采样电路(5),用于从切换选择的锂离子电池单体上获得不同区段的响应电压信号;

处理器(1),还用于对获得的不同区段的响应电压信号进行快速傅氏变换,得到该锂离子电池单体不同区段的电压向量,通过该电压向量和V-I转换电路(3)得到的电流激励信号,获得各频率下的阻抗,对各频率下的阻抗进行拟合,从而得到各激励信号下的锂离子电池单体的阻抗谱。

2. 根据权利要求1所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,其特征在于,V-I转换电路(3)包括电阻R1-R12、电阻Rs、二极管D1-D2、三极管Q1-Q2和运算放大器U1-U3,

信号发生器(2)的电压激励信号输出端同时连接电阻R5的一端和电阻R6的一端,电阻R5的另一端连接电源地,电阻R6的另一端同时连接运算放大器U1的反相输入端、电阻R9的一端和电阻R8的一端,运算放大器U1的同相输入端连接电阻R7的一端,电阻R7的另一端连接电源地,

运算放大器U1的正电源端同时连接+15V供电电源、电阻R1的一端和电阻R3的一端,电阻R1的另一端同时连接二极管D1的正极和三极管Q1的基极,二极管D1的负极同时连接运算放大器U1的输出端和二极管D2的正极,二极管D2的负极同时连接电阻R2的一端和三极管Q2的基极,电阻R2的另一端同时连接运算放大器U1的负电源端、15V供电电源和电阻R4的一端,电阻R4的另一端连接三极管Q2的集电极,三极管Q2的发射极同时连接三极管Q1的发射极、电阻R8的另一端和电阻Rs的一端,三极管Q1的集电极连接电阻R3的另一端,

电阻Rs的另一端同时连接电阻R12的一端和运算放大器U3的同相输入端,运算放大器U3的反相输入端同时连接运算放大器U3的输出端和电阻R11的一端,电阻R11的另一端同时连接电阻R10的一端和运算放大器U2的反相输入端,运算放大器U2的同相输出端连接电源地,电阻R10的另一端同时连接运算放大器U2的输出端和电阻R9的另一端,

电阻R12的另一端和接地线均连接锂离子电池组(6)。

3. 根据权利要求1所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,其特征在于,开关切换电路(4)包括n对对顶MOS管,

V-I转换电路(3)电流激励信号的正极输出端同时连接n个对顶MOS管的一端,V-I转换电路(3)电流激励信号的负极输出端同时连接另外的n个对顶MOS管的一端,每对对顶MOS管的另一端之间串联一个锂离子电池单体,n个锂离子电池单体串联。

4. 根据权利要求3所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,其特征在在于,采样电路(5)从每个锂离子电池单体两端采集该锂离子电池单体的响应电压。

5. 根据权利要求2所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,其特征在在于,V-I转换电路(3)输出的激励电流 $I_{out}$ 为:

$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_s} \quad \text{公式 1,}$$

式中, $V_{in}$ 为V-I转换电路输入的激励电压, $R_s$ 为电阻 $R_s$ 的电阻值。

## 一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,属于锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量领域。

### 背景技术

[0002] 锂离子电池作为新型的高能化学电源,具有比能量高、湿贮存寿命长、放电电压平坦、充放电效率高、环境友好等一系列特性,这使得锂离子电池在不同应用场合都得到了广泛的关注。

[0003] 然而,在某些要求系统具有高安全性和可靠性的应用场合,如电动汽车,在轨卫星,应急设备等,需要监控核心能源部件以保证系统正常运行。对于锂离子电池这一对象而言,监控其健康状态是比较难以实现的,因为锂离子电池是一种化学电源,其健康状况主要由内部的电化学参数决定,难以从外部参数直接获得。针对这一问题,国内外很多学者对此进行了大量的研究,研究发现,电池的电化学阻抗谱与电池的寿命及荷电状态有着密切的联系,因此电化学阻抗谱的测量成为了监控锂离子电池健康状态的关键。

[0004] 当前电化学阻抗谱的测量主要使用交流阻抗法(频域阻抗谱测量方法),即在电池处于平衡电势的情况下对锂离子电池施加一定频率的电压或者电流激励,在得到几个周期的响应数据后计算该频点下的阻抗。这种方法需要专用的测试设备,测试周期较长,难以实现系统内的集成和在线测量。

### 发明内容

[0005] 本发明是为了解决现有采用交流阻抗法对锂离子电池的电化学阻抗谱进行测量,该测量方法需要专用的测试设备,测试周期较长,难以实现系统内的集成和在线测量的问题。现提供一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置。

[0006] 一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,所述装置包括处理器1、信号发生器2、V-I转换电路3、开关切换电路4和采样电路5,

[0007] 处理器1,用于将各频率的正弦波进行分组,将分组后的各频率的正弦波分别加载到最低频正弦信号的不同区段;

[0008] 信号发生器2,用于得到加载后的不同区段的电压激励信号;

[0009] 处理器1,还用于控制开关切换电路4的切换;

[0010] 开关切换电路4,用于对不同锂离子电池单体进行切换,使切换选择的锂离子电池单体接收不同区段的电流激励信号;

[0011] V-I转换电路3,用于将所述的不同区段的电压激励信号分别转化为电流激励信号;

[0012] 采样电路5,用于从切换选择的锂离子电池单体上获得不同区段的响应电压信号;

[0013] 处理器1,还用于对获得的不同区段的响应电压信号进行快速傅氏变换,得到该锂离子电池单体不同区段的电压向量,通过该电压向量和V-I转换电路3得到的电流激励信

号,获得各频率下的阻抗,对各频率下的阻抗进行拟合,从而得到各激励信号下的锂离子电池单体的阻抗谱。

[0014] 本发明的有益效果为:

[0015] 本申请在硬件采用电路设计,软件上采用时域测量的方式,因而不需要精确控制信号发生的频率,省去了复杂的锁相环等电路,简化了硬件电路。通过部件集成的方式降低了外部环境因素带来的附加误差。

[0016] 本申请的电化学阻抗谱的测试过程中,为保证锂离子电池内部电化学平衡状态不被打破,本方法采用电流激励,电压响应的方式进行测量。为实现时域下对电化学阻抗谱的测量,需要对激励和响应信号进行FFT或者Laplace变换。为保证测量的精度,各个频点都应当具有相当的信号强度,因此本方法采用所有待测频点下幅值相同正弦波合成的方式来生成电流激励信号。为保证电池安全,本方法采用错位合成的方式处理激励信号,避免电流激励过强。以上方案解决了一系列测试过程中可能存在的问题,简化了测试流程,提高了测试效率。

[0017] 在数据处理方面,本方法通过对采样信号的分段处理,可以较大程度减小待处理的数据量,提升计算效率。另外,信号分段处理后可以降低处理器的内存占用,有利于本方法在嵌入式系统中的实现。

## 附图说明

[0018] 图1为具体实施方式一所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置的原理示意图;

[0019] 图2为V-I转换电路的电路原理图;

[0020] 图3为开关切换电路的电路原理图,Cell1-Celln均表示锂离子电池单体;

[0021] 图4为模拟合成的电流激励信号;

[0022] 图5为采集到的响应电压信号;

[0023] 图6为采用本申请的装置得到的测量结果与使用专用设备测量得到的测量结果的对比图。

## 具体实施方式

[0024] 具体实施方式一:参照图1具体说明本实施方式,本实施方式所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置,所述装置包括处理器1、信号发生器2、V-I转换电路3、开关切换电路4和采样电路5,

[0025] 处理器1,用于将各频率的正弦波进行分组,将分组后的各频率的正弦波分别加载到最低频正弦信号的不同区段;

[0026] 信号发生器2,用于得到加载后的不同区段的电压激励信号;

[0027] 处理器1,还用于控制开关切换电路4的切换;

[0028] 开关切换电路4,用于对不同锂离子电池单体进行切换,使切换选择的锂离子电池单体接收不同区段的电流激励信号;

[0029] V-I转换电路3,用于将所述的不同区段的电压激励信号分别转化为电流激励信号;

[0030] 采样电路5,用于从切换选择的锂离子电池单体上获得不同区段的响应电压信号;  
[0031] 处理器1,还用于对获得的不同区段的响应电压信号进行快速傅氏变换,得到该锂离子电池单体不同区段的电压向量,通过该电压向量和V-I转换电路3得到的电流激励信号,获得各频率下的阻抗,对各频率下的阻抗进行拟合,从而得到各激励信号下的锂离子电池单体的阻抗谱。

[0032] 本实施方式中,在时域测量电化学阻抗谱的测试中,所使用的激励信号决定了测试结果中包含了哪些频点的阻抗特征,以往的研究显示,对于锂离子电池这一对象而言,其阻抗特征主要分布在0.01Hz~1000Hz这一范围之内。因而,本方法在这一频带之内选取了若干个最能表征电池健康和寿命状态的特征阻抗频点进行激励信号的合成。在正弦信号的合成过程中,受测试设备精度的影响,需要每个频率的正弦波都具有相应的幅值,当多个正弦波合成激励信号时,可能会发生合成的激励信号幅值过大,超出设备输出能力,或者影响锂离子电池化学平衡状态,导致测量精度下降的问题。为此,本申请采用一种分段错位合成的手段来避免此问题的发生。首先是对各频率的正弦波进行相位控制,以控制合成后信号的幅值,其次是对各频率的正弦波进行分组处理,分别加载在最低频正弦信号的不同区段,使同一时刻信号加载的不同频率正弦信号降低,以控制合成后整体信号的幅值。

[0033] 在切换选择了待测的电池单体,并且对其输出预先设定好的激励以后,就需要对响应信号进行测量。为保证测量精度,采用高分辨率采样电路5同时采集图2中R12两端电压和电池两端电压,由于R12阻值已知,就可以直接得到实际施加在单体电池上的激励信号和响应信号。在已知激励信号的分段合成方式的情况下,即可对上述采集到的信号进行FFT分析,从而得到各频点下该锂离子电池单体的特征阻抗。例如:为测定某电池单体的阻抗谱,需要 $\omega_0$ 、 $\omega_1$ …… $\omega_n$ (频率依次增大)这n+1个频率下的电池阻抗,以频率为 $\omega_0$ 的正弦基波为基础,从 $\omega_1$ 到 $\omega_n$ 分为m组,分别叠加在频率为 $\omega_0$ 的正弦基波的 $t_{1s} \sim t_{1e}$ ,  $t_{2s} \sim t_{2e}$ …… $t_{ms} \sim t_{me}$ 段,从而得到叠加后的测试电压激励信号。将此激励信号通过V-I转换电路转换为包含 $I_{\omega_0}$ 、 $I_{\omega_1}$ …… $I_{\omega_n}$ 这n+1个频率正弦波的电流激励信号,再加在待测电池单体上。测得响应的电压信号,对响应信号的 $t_{1s} \sim t_{1e}$ ,  $t_{2s} \sim t_{2e}$ …… $t_{ns} \sim t_{ne}$ 段分别进行快速傅里叶变换,即可得到对应的 $U_{\omega_0}$ 、 $U_{\omega_1}$ …… $U_{\omega_n}$ ,由 $Z=U/I$ 即可求得 $\omega_0$ 、 $\omega_1$ …… $\omega_n$ 这n+1个频率下的阻抗 $Z_{\omega_0}$ 、 $Z_{\omega_1}$ …… $Z_{\omega_n}$ 。再通过通用的曲线拟合等方法即可得到该电池单体的阻抗谱曲线。

[0034] 在一个系统中,电池组往往由许多电池单体串并联而成,如果每次测试都需要顺序对所有电池单体进行一次测量,则会占用大量的时间。因此,需要有一种筛选手段对所有电池的健康状态进行一个初步的估计,以确定具体需要进行电化学阻抗谱测量的电池单体。本申请采用提取某些电池外部参数作为电池健康状态的估计指标的方法来对全部电池单体进行初步的筛选,对其中可能存在健康隐患的电池单体再进行进一步测试,这样可以大大缩短对某一电池组健康状态进行测试分析的时间。

[0035] 具体实施方式二:参照图2具体说明本实施方式,本实施方式是对具体实施方式一所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置作进一步说明,本实施方式中,V-I转换电路3包括电阻R1-R12、电阻R<sub>s</sub>、二极管D1-D2、三极管Q1-Q2和运算放大器U1-U3,

[0036] 信号发生器2的电压激励信号输出端同时连接电阻R5的一端和电阻R6的一端,电阻R5的另一端连接电源地,电阻R6的另一端同时连接运算放大器U1的反相输入端、电阻R9的一端和电阻R8的一端,运算放大器U1的同相输入端连接电阻R7的一端,电阻R7的另一端

连接电源地，

[0037] 运算放大器U1的正电源端同时连接+15V供电电源、电阻R1的一端和电阻R3的一端，电阻R1的另一端同时连接二极管D1的正极和三极管Q1的基极，二极管D1的负极同时连接运算放大器U1的输出端和二极管D2的正极，二极管D2的负极同时连接电阻R2的一端和三极管Q2的基极，电阻R2的另一端同时连接运算放大器U1的负电源端、15V供电电源和电阻R4的一端，电阻R4的另一端连接三极管Q2的集电极，三极管Q2的发射极同时连接三极管Q1的发射极、电阻R8的另一端和电阻Rs的一端，三极管Q1的集电极连接电阻R3的另一端，

[0038] 电阻Rs的另一端同时连接电阻R12的一端和运算放大器U3的同相输入端，运算放大器U3的反相输入端同时连接运算放大器U3的输出端和电阻R11的一端，电阻R11的另一端同时连接电阻R10的一端和运算放大器U2的反相输入端，运算放大器U2的同相输出端连接电源地，电阻R10的另一端同时连接运算放大器U2的输出端和电阻R9的另一端，

[0039] 电阻R12的另一端和接地线均连接锂离子电池组6。

[0040] 具体实施方式三：参照图3具体说明本实施方式，本实施方式是对具体实施方式一所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置作进一步说明，本实施方式中，开关切换电路4包括n对对顶MOS管，

[0041] V-I转换电路(3)电流激励信号的正极输出端同时连接n个对顶MOS管的一端，V-I转换电路3电流激励信号的负极输出端同时连接另外的n个对顶MOS管的一端，每对对顶MOS管的另一端之间串联一个锂离子电池单体，n个锂离子电池单体串联。

[0042] 本实施方式中，为实现对锂离子电池组电化学阻抗谱的在线测量，还需要解决的一个问题是如何有效切换选择待测的锂离子电池单体。本申请采用如下开关拓扑结构实现对不同锂离子电池单体的切换选择。其开关切换拓扑结构如图3所示。其左侧的输入端连接到V-I转换电路3的输出端，VF1~VF2n均为对顶Mos管，各电池单体的两侧各设置一个对顶MOS管。当选择某个锂离子电池单体时，通过控制器控制开关切换电路4打开对应的锂离子电池单体的正极侧和负极侧的MOS管即可。例如，如果需要选中锂离子电池单体Ce112，打开VF2和VF8即可。

[0043] 具体实施方式四：本实施方式是对具体实施方式三所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置作进一步说明，本实施方式中，采样电路5从每个锂离子电池单体两端采集该锂离子电池单体的响应电压。

[0044] 具体实施方式五：本实施方式是对具体实施方式二所述的一种锂离子电池组电化学阻抗谱在线测量装置作进一步说明，本实施方式中，V-I转换电路3输出的激励电流 $I_{out}$ 为：

$$[0045] \quad I_{out} = \frac{V_{in}}{R_s} \quad \text{公式 1,}$$

[0046] 式中， $V_{in}$ 为V-I转换电路输入的激励电压， $R_s$ 为电阻Rs的电阻值。

[0047] 本实施方式中，本申请采用处理器控制高分辨率信号发生器2作为信号发生源，此部分电路为较为常见电路。对于信号发生器2产生的电压激励信号，通过V-I转换电路3将电压信号转化为电流激励。此部分电路结构如图2所示，其右侧端口的输出电流为：

[0048] 
$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_s}。$$

[0049] 实验验证：

[0050] 本实验通过对日本三洋公司生产14500P三元锂离子电池进行测量，验证基于时域测量电化学阻抗谱方法的可行性和准确性。

[0051] 根据本申请的方法合成的电流激励信号如图4所示。采集到的电压响应信号如图5所示。

[0052] 由上述激励和响应信号进行FFT分析得到的电化学阻抗谱与使用专用测试设备测量的结果如图6所示，其中频率范围为0.1Hz~10kHz。可以看到两者结果比较相近，该方法较为准确。

[0053] 本方法采用时域阻抗谱测量技术结合一种开关拓扑结构实现锂离子电池组电化学阻抗谱的在线测量，解决了传统频域阻抗谱测量设备体积过大，集成度不高，测试速度过慢，无法实现在线测量的问题。同时通过一些细节的技术改进，提高了测试效率，降低了硬件成本，具有相当的实用价值。



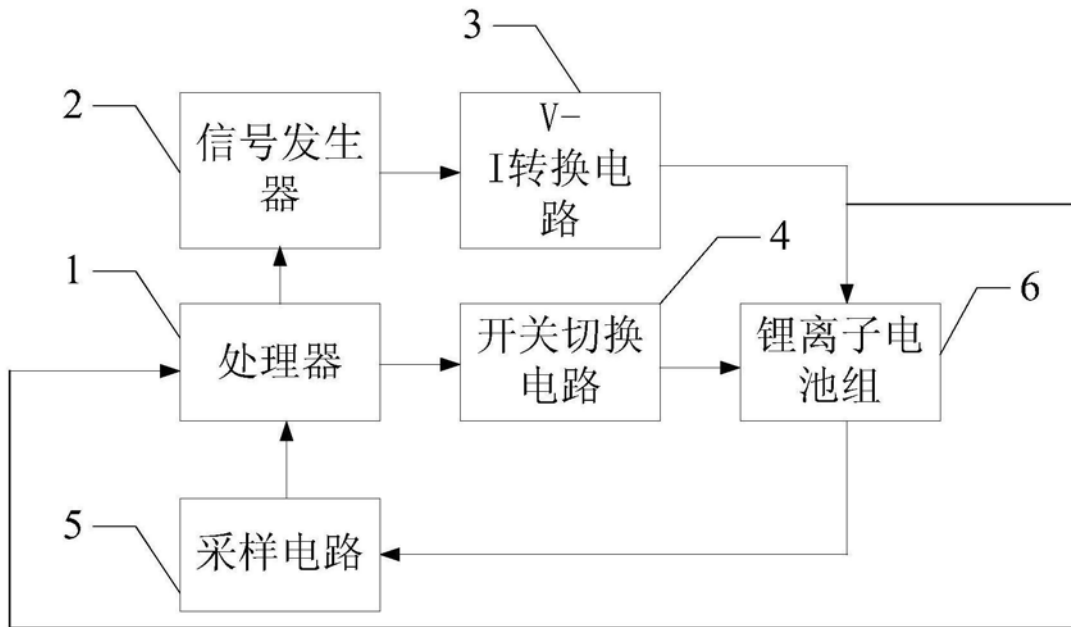


图1

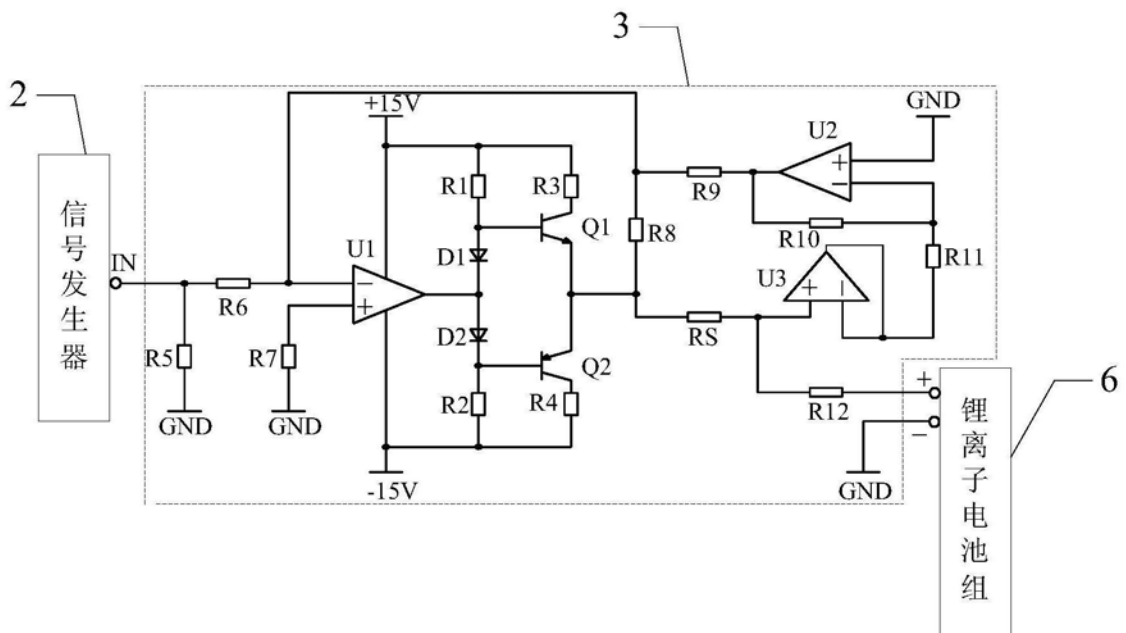


图2

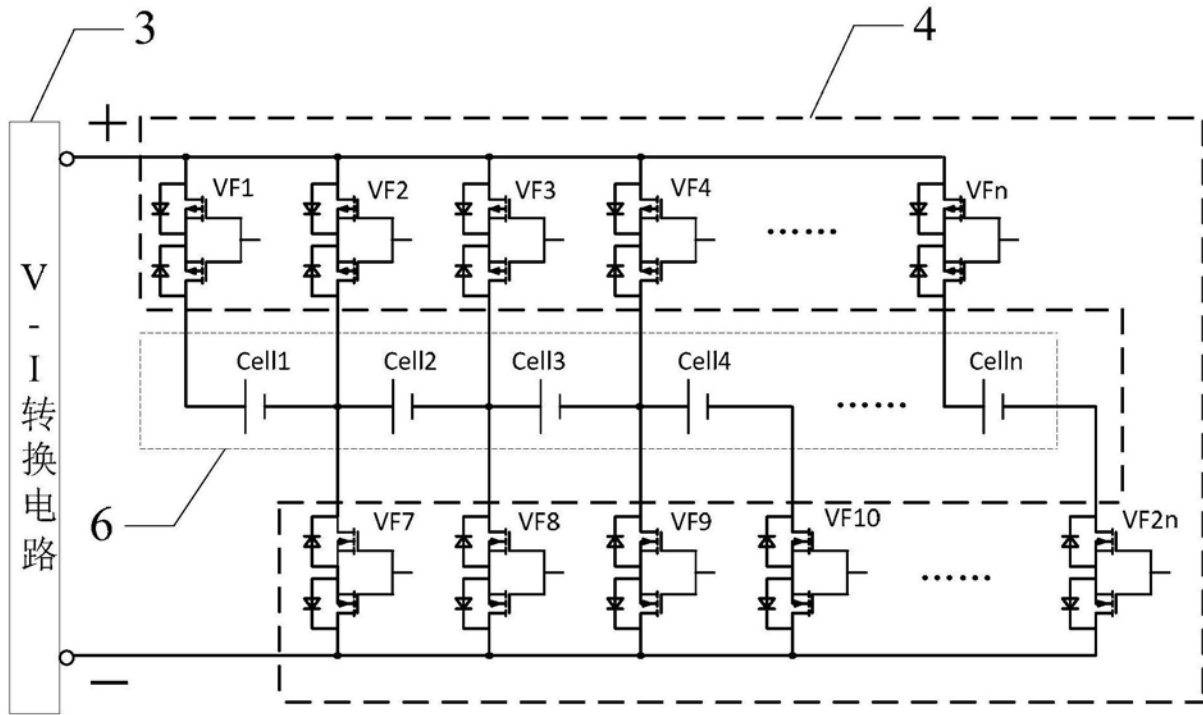


图3

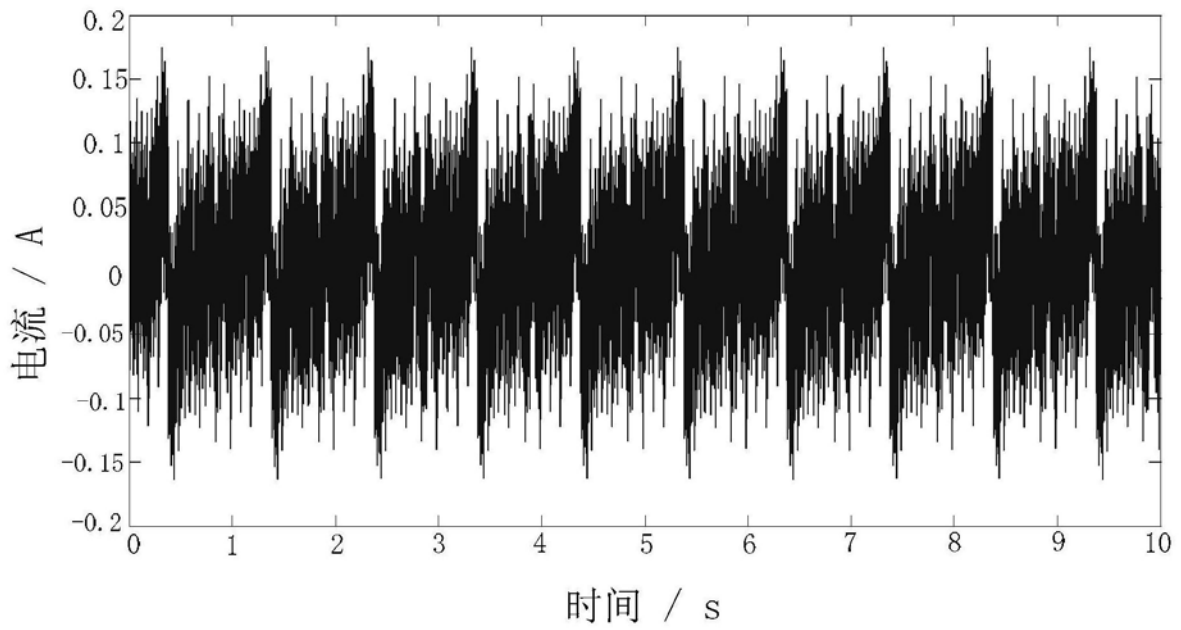


图4

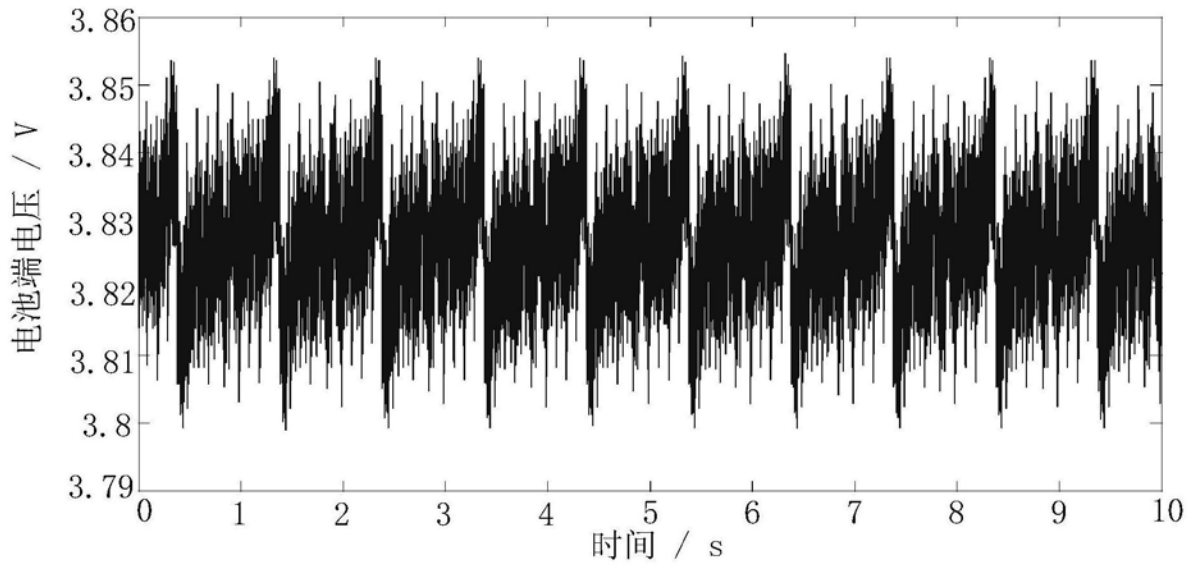


图5

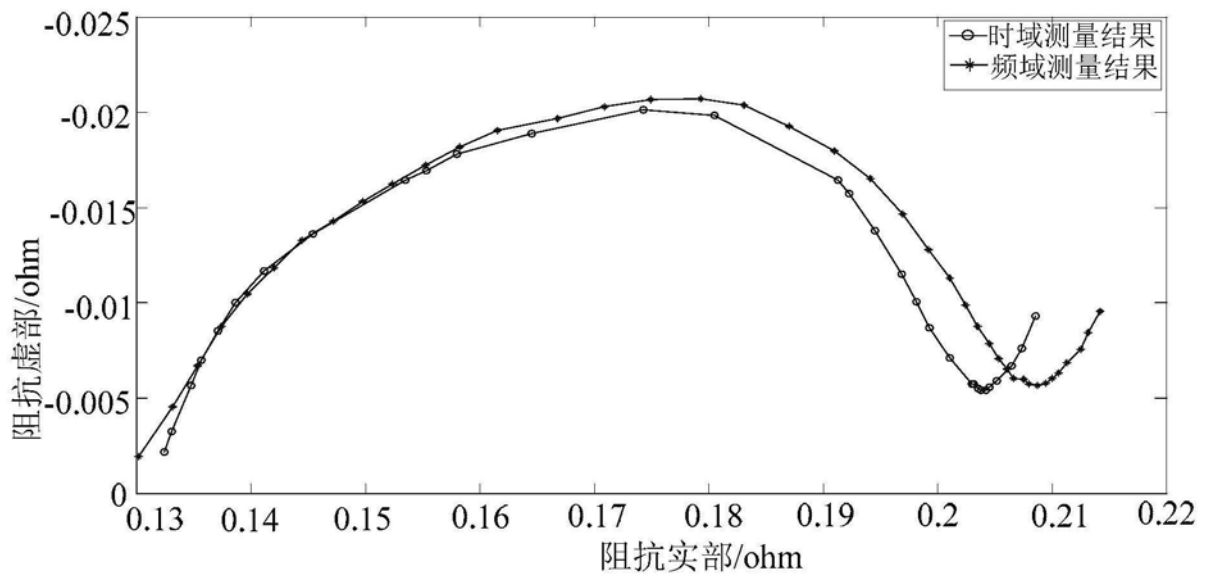


图6