



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116918131 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 20

(21) 申请号 202180059935.5

(22) 申请日 2021.07.23

(30) 优先权数据

63/056,531 2020.07.24 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.01.18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/042970 2021.07.23

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2022/020718 EN 2022.01.27

(71) 申请人 亚德诺半导体国际有限责任公司

地址 爱尔兰利默里克

(72) 发明人 H·古拉帕利 E·索尔坦莫哈马迪

H·张 M·W·奥布里恩

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

专利代理师 张丹

(51) Int.Cl.

H01M 10/42 (2006.01)

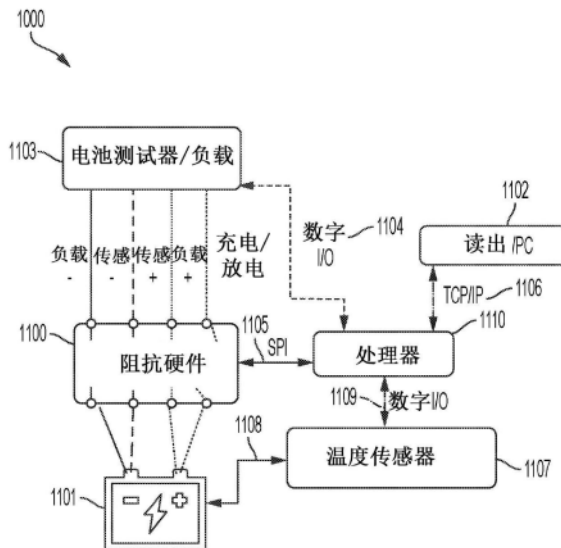
权利要求书2页 说明书14页 附图16页

## (54) 发明名称

使用阻抗光谱法跟踪不可再充电电池的充电状态

## (57) 摘要

描述了用于确定电池充电状态的传感器和方法。在一些情况下,通过向电池端子施加具有频率的电流扰动、监测响应信号并确定响应信号的相位来确定充电状态。相位可以与电池的充电状态相关,从而一旦确定了相位,就可以确定电池的充电状况。在一些情况下,充电状态可用于确定连接到电池的负载的操作条件。在一些实施例中,充电状态可用于确定电池是否有缺陷。



1. 一种确定非可充电电池的充电状态的方法,包括:  
向所述电池施加具有设定频率的电流扰动;  
检测所述电池对所述电流扰动的电压响应;  
确定所述设定频率下的所述电压响应的复阻抗;和  
使用所述复阻抗和所述电池的充电状态之间的直接相关性来识别所述电池的充电状态。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中识别所述电池的充电状态包括将确定的复阻抗与将测量的复阻抗值与所述充电状态相关联的查找表进行比较。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中识别所述电池的充电状态包括使用将所述复阻抗与所述充电状态相关联的等式来计算所述充电状态。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述电流扰动具有2-100Hz之间的频率。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括检测与确定所述复阻抗相关联的瞬时温度。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中从所述复阻抗识别所述电池的充电状态还包括使用所述瞬时温度下的复阻抗与所述充电状态之间的一对一关系。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述不可再充电电池是亚硫酸氯锂电池,并且其中识别所述电池的充电状态包括识别所述亚硫酸氯锂电池的充电状态。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中使用复阻抗和充电状态之间的直接相关性来识别所述电池的充电状态还包括使用所述复阻抗的相位和所述电池的充电状态之间直接相关性来识别所述电池的充电状态。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中使用复阻抗和充电状态之间的直接相关性来识别所述电池的充电状态还包括使用所述复阻抗的虚分量和所述电池的充电状态之间直接相关性来识别所述电池的充电状态。
10. 一种用于确定不可再充电电池的充电状态的系统,包括:  
频率发生器,被配置为以频率向所述不可再充电电池施加电流扰动;  
阻抗探针,被配置为检测所述不可再充电电池在所述频率下的电压响应;  
处理器;和  
存储处理器可执行指令的非暂时性计算机可读存储介质,当所述处理器执行所述指令时,所述指令使所述处理器:  
控制所述频率发生器以向所述不可再充电电池施加具有设定频率的电流扰动;  
控制所述阻抗探针以检测所述不可再充电电池对所述电流扰动的电压响应;  
确定所述设定频率下的所述电压响应的复阻抗;和  
使用所述复阻抗和电池的充电状态之间的直接相关性识别所述不可再充电电池的充电状态。
11. 根据权利要求10所述的系统,其中所述电流扰动具有2-100Hz之间的频率。
12. 根据权利要求10所述的系统,还包括温度传感器,被配置为检测与确定所述复阻抗相关联的不可再充电电池的瞬时温度,并且其中所述处理器可执行指令在由所述处理器执行时,使所述处理器控制所述温度传感器以检测所述不可再充电电池的瞬时温度。
13. 根据权利要求10所述的系统,其中所述处理器和所述不可再充电电池作为单个单元耦合在一起。

14. 根据权利要求10所述的系统,其中所述处理器远离所述不可再充电电池。
15. 根据权利要求10所述的系统,其中所述频率发生器由所述不可再充电电池供电。
16. 根据权利要求10所述的系统,其中所述频率发生器由所述不可再充电电池外部的电源供电。
17. 根据权利要求10所述的系统,其中所述不可再充电电池是亚硫酰氯锂电池。
18. 一种用于确定不可再充电电池的充电状态的系统,包括:  
处理器,被配置为:  
接收指示所述不可再充电电池对所施加的电流扰动的电压响应的复阻抗的信息;和  
从指示所述复阻抗的信息确定所述电荷状态。
19. 根据权利要求18所述的系统,其中所述处理器和所述不可再充电电池作为单个单元耦合在一起。
20. 根据权利要求18所述的系统,其中所述处理器远离所述不可再充电电池。
21. 根据权利要求18所述的系统,其中确定所述充电状态包括将所述复阻抗与将所述复阻抗与所述电荷状态相关联的查找表中的值进行比较。
22. 根据权利要求18所述的系统,其中确定所述充电状态包括使用将所述电池的复阻抗与所述电荷状态相关联的等式来计算所述充电状态。

## 使用阻抗光谱法跟踪不可再充电电池的充电状态

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据35 U.S.C. §119 (e) 要求2020年7月24日提交的、代理人案卷No.G0766.70322US00、发明名称为“使用阻抗光谱法追踪氯化锂硫酰氯电池的充电状态”的美国临时专利申请序列No.63/056,531的权益,其全部内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本申请涉及确定电池的充电状态。

### 背景技术

[0004] 电池有时以其充电状态为特征,这是其预期使用寿命的一个指标。一些电池在其寿命期间表现出稳定的电压,直到不再有剩余电荷。

### 发明内容

[0005] 描述了用于确定电池充电状态的传感器和方法。在一些情况下,通过向电池端子施加具有频率的电流扰动、监测响应信号并确定响应信号的相位来确定充电状态。相位可以与电池的充电状态相关,从而一旦确定了相位,就可以确定电池的充电状况。在某些情况下,该相位可用于确定连接到电池的负载的操作条件。在一些实施例中,充电状态可用于确定电池是否有缺陷。

[0006] 一些实施例涉及一种确定非可充电电池的充电状态的方法。该方法可包括:向所述电池施加具有设定频率的电流扰动,检测所述电池对所述电流扰动的电压响应,确定所述设定频率下的所述电压响应的复阻抗,和使用所述复阻抗和所述电池的充电状态之间的直接相关性来识别所述电池的充电状态。

[0007] 一些实施例涉及一种用于确定不可再充电电池的充电状态的系统。所述系统可包括:频率发生器,被配置为以频率向所述不可再充电电池施加电流扰动,阻抗探针,被配置为检测所述不可再充电电池在所述频率下的电压响应,处理器,和存储处理器可执行指令的非暂时性计算机可读存储介质,当所述处理器执行所述指令时,所述指令使所述处理器:控制所述频率发生器以向所述不可再充电电池施加具有设定频率的电流扰动;控制所述阻抗探针以检测所述不可再充电电池对所述电流扰动的电压响应;确定所述设定频率下的所述电压响应的复阻抗;和使用所述复阻抗和电池的充电状态之间的直接相关性识别所述不可再充电电池的充电状态。

[0008] 一些实施例涉及一种用于确定不可再充电电池的充电状态的系统。所述系统可包括:处理器,被配置为:接收指示所述不可再充电电池对所施加的电流扰动的电压响应的复阻抗的信息;和从指示所述复阻抗的信息确定所述电荷状态。

### 附图说明

[0009] 将参考以下附图描述本申请的各个方面和实施例。应当理解,这些数字不一定按

比例绘制。出现在多个图中的项目在其出现的所有图中用相同的附图标记表示。

[0010] 图1示出了根据本申请的非限制性实施例的电压信号响应于向亚硫酰氯锂电池的端子施加电流扰动的复阻抗的相位作为电池的充电状态(SOC)的函数的曲线。

[0011] 图2示出了根据本申请的非限制性实施例的在相同温度下多个电池的复阻抗的相位与充电状态之间的关系。

[0012] 图3是根据本申请的非限制性实施例的作为时间函数的复阻抗的曲线图。

[0013] 图4示出了根据本申请的一些非限制性实施例的在不同温度下多个电池的复阻抗的相位与充电状态之间的关系。

[0014] 图5示出了根据本申请的一些非限制性实施例的在不同温度下电池的复阻抗的相位和充电状态之间的关系。

[0015] 图6示出了根据本申请的一些实施例的电压信号响应于在脉冲负载下对电池施加电流扰动的相位和模量的演变。

[0016] 图7示出了根据本申请的非限制性实施例的电池的两种不同负载条件的模拟相位响应曲线。

[0017] 图8示出了根据本申请的非限制性实施例的复阻抗的相位与电池上的负载之间的关系。

[0018] 图9示出了根据本申请的非限制性实施例的用于确定亚硫酰氯锂电池的SOC的方法。

[0019] 图10示出了根据本申请的非限制性实施例的耦合到电池的传感器。

[0020] 图11示出了根据本申请的非限制性实施例的耦合到电池的图10的传感器的实现的非限制示例。

[0021] 图12是根据本申请的非限制性实施例的传感器的软件和固件实现。

[0022] 图13示出了根据本申请的非限制性实施例的用于确定电池的负载状况的方法。

[0023] 图14示出了根据本申请的非限制性实施例的用于电池的早期故障检测的方法。

[0024] 图15示出了根据本申请的非限制性实施例的传感器系统。

[0025] 图16示出了根据本申请的非限制性实施例的公用电仪表。

[0026] 图17示出了在相同温度下多个电池的复阻抗的虚分量与充电状态之间的关系。

[0027] 图18示出了根据本申请的非限制性实施例的复阻抗的虚分量与电荷状态之间的关系。

[0028] 图19示出了复阻抗的虚分量与多个电池在不同温度下的充电状态之间的关系。

## 具体实施方式

[0029] 本申请的各方面提供了一种通过测量电池响应于向电池端子施加电流扰动而产生的信号的复阻抗来确定亚硫酰氯锂电池的充电状态(SOC)的方法。亚硫酰氯锂电池有时被用作不可再充电电池,因为它们具有相对较长的寿命。亚硫酰氯锂电池的特征在于高能量密度(在一些实施例中为~1200Wh/L)、高比能量(在某些实施例中是500Wh/kg)、稳定的电压分布(在一些具体实施例中为~3.5V)、宽的可操作温度范围(在一些实施例中为-60°C至85°C)和长的保质期(例如在一些实施方案中为10年)。本发明人已经发现并认识到,亚硫酰氯锂电池在SOC和由向电池端子施加电流扰动引起的响应信号的复阻抗之间表现出相关

性。因此,本申请的各方面提供了一种方法,该方法包括向电池端子施加单频电流扰动(其可以是电流脉冲),监测电池端子两端的所得电压,并确定电压响应的复阻抗。然后,例如通过参考SOC和响应信号的复阻抗的相位之间的相关性,从电压响应的复阻抗确定电池的SOC。作为另一示例,也可以使用响应信号的复阻抗的虚分量来确定电池的SOC。

[0030] 根据本申请的一个方面,提供了一种传感器以确定电池的充电状态。传感器被配置为向电池的端子施加单频电流扰动(可是电流脉冲),并监测响应信号以确定响应信号的复阻抗。响应信号可以是电压信号。根据所确定的响应信号的复阻抗和测试时电池的温度,传感器可以确定电池的SOC。例如,可以参考电池的SOC和响应信号的相位之间的已知相关性。传感器还可用于评估负载的操作条件和/或电池是否有缺陷。在一些实施例中,传感器可以包括或可以是被配置为执行指令的通用处理器,该指令使得传感器执行上述用于确定电池的SOC的方法。

[0031] 根据本申请的一个方面,电池和传感器作为单个单元耦合在一起,并且传感器被配置为执行确定电池的SOC的方法。例如,电池和传感器都可以位于同一外壳内,例如公用电表的外壳内。在一些实施例中,传感器可以被配置为公用电表的部件,并且电池可以被安装在公用电表中以提供电力。在其他实施例中,传感器可以是与公用电表分离的部件,其被配置为当电池耦合到传感器时向公用电表提供电力。在其他实施例中,传感器可以与公用电表分离,并且被配置为与公用电表接口,以测量安装在公用电表内的电池的SOC。在至少一些实施例中,电池是亚硫酰氯锂电池。传感器被配置为向电池的端子施加单频电流扰动(可是电流脉冲),并监测响应信号以确定响应信号的相位。响应信号可以是电压信号。根据所确定的响应信号的相位,传感器可以确定电池的充电状态。例如,可以参考电池的SOC和响应信号的相位之间的已知相关性。在一些实施例中,传感器参考查找表以基于响应信号的测量相位来确定电池的SOC。

[0032] 复阻抗是电路电阻和电抗的量度,并且用极性形式表示为:

$$[0033] \quad Z = |Z| e^{j\theta}$$

[0034] 其中 $|Z|$ 表示电压振幅与电流振幅之比的大小, $j$ 表示虚分量单位,并且 $\theta$ 表示电压和电流之间的相位差。复阻抗也可以笛卡尔形式表示为:

$$[0035] \quad Z = R + jX$$

[0036] 其中 $R$ 是复阻抗(电阻)的实分量,并且 $X$ 是复阻抗的虚分量(电抗)。因此,四个参数与复阻抗相关-幅度、相位、实分量和虚分量-并且可以响应于向电路施加电流扰动和检测电压响应来测量。

[0037] 如上所述,本发明人已经发现并认识到,亚硫酰氯锂电池在SOC和由于向电池端子施加电流扰动而产生的响应信号的相位之间表现出相关性。图1示出了响应于向亚硫酰氯锂电池的端子施加电流扰动的电压信号的复阻抗的相位作为电池的充电状态(SOC)的函数的曲线。使用亚硫酰氯锂电池,AA尺寸圆柱形电池,标称电压为3.6V,并且容量为2600mAh(Saft电池:LS 14500)生成该图。阻抗测量使用频率为5Hz和AC振幅为12mA的正弦激励。SOC与频率为5Hz时的相位响应之间的直接关系如曲线101所示。从图中可以明显看出,相关性是单调的,因此允许SOC和测量的相位响应之间的简单的一对一关系。

[0038] 图2示出了在相同温度下多个电池的复阻抗的相位与充电状态之间的关系的实验数据。曲线201对应于第一亚硫酰氯锂电池,并且曲线202对应于第二亚硫酰氯电池。第一和

第二电池都是AA尺寸的圆柱形电池,标称电压为3.6V和容量为2600mAh。将电池保持在大约26摄氏度,并以5mA的恒定电流从3.7V的初始电压放电到3.0V的最终电压。使用频率为5Hz的正弦激励,每小时进行一次相位测量以监测充电状态,将12mA的交流峰间振幅用于阻抗测量。在图2中,当电池是新的时,SOC被定义为1,当端子电压已经达到3V时,SOC为0。如曲线201和202的重叠所示,对于相同尺寸的亚硫酰氯锂电池,施加电流扰动时电压信号响应的相位与充电状态之间的关系是单调的且可重复的。

[0039] 此外,发明人已经发现并认识到,亚硫酰氯锂电池的SOC和响应信号的相位之间的相关性与电池的温度历史无关。这意味着,亚硫酰氯锂电池的SOC可以通过向电池端子施加电流扰动并在知道电池当前温度的情况下测量响应信号的相位来确定,而与电池的温度历史无关。因此,这种方法可以在各种环境条件下执行,而不需要在电池操作期间监测温度,这可能需要使用耗电设备或测试程序。图3是根据本申请的非限制性实施例的作为时间函数的复阻抗的相位的曲线图。曲线302示出了在亚硫酰氯锂电池的操作时间期间测量的频率为5Hz的复阻抗的相位。曲线302表明SOC和响应信号的相位之间的明显相关性。该相关性可用于确定电池的SOC。此外,曲线303示出了在操作寿命期间电池的温度。曲线304示出了在亚硫酰氯锂电池的操作期间在5Hz频率下的复阻抗的模量。曲线305示出了亚硫酰氯锂电池在操作期间的测量电压输出。曲线306示出了在亚硫酰氯锂电池的操作期间施加到电池的放电电流。如这些图所示,曲线302和303之间没有显著的相关性,这意味着测量频率下的相位响应与温度历史无关。这种与温度历史的独立性允许在单个频率下的相位响应和SOC之间绘制简单、鲁棒的相关性,只知道测试时电池的单个温度,而无需测量额外的参数。

[0040] 尽管图3示出了与5Hz信号的应用相关联的实验数据,但在一些实施例中,可以使用其他频率。例如,可以替代地施加40Hz信号。电池在相位响应和SOC之间表现出与温度历史无关的相关性的特定频率或频率范围可取决于电池尺寸。例如,第一尺寸的电池可以用第一频率来表征,表明相位响应和SOC之间的相关性,而第二尺寸的电池则可以用第二频率来表征,表明相位响应和SOC之间的相关性。在一些实施例中,适合于测试特定尺寸的电池的频率可以是已知的,使得操作以确定充电状态的传感器可以被编程以应用已知频率。

[0041] 图4示出了多个电池在不同温度下的复阻抗的相位与充电状态之间的关系的实验数据。曲线203对应于26.5摄氏度下的第一亚硫酰氯锂电池;曲线204对应于35摄氏度下的第二亚硫酰氯锂电池;并且曲线205对应于15摄氏度下的第三亚硫酰氯锂电池。三个电池在单独的温度控制室中以5mA的恒定电流放电,直到端子电压达到3V。曲线203、204和205的阻抗测量每小时进行一次。如图4所示,在每个温度下,充电状态和电压信号响应于施加电流扰动的相位之间的关系是单调的。

[0042] 图5示出了在不同温度下电池的复阻抗的相位与充电状态之间的关系的实验数据,以及实验数据的曲线拟合。将亚硫酰氯锂电池在温度控制室中以5mA的恒定电流放电,直到端子电压达到3V。放电时,室的温度在10°C和35°C之间随机变化。如图5中的曲线206、207和208所示,在给定温度下的相位信号响应的测量是单调的。曲线206表示在35摄氏度时复阻抗的相位和SOC之间的单调关系;曲线207表示在25摄氏度时复阻抗的相位和SOC之间的单调关系;和曲线208表示在10摄氏度时复阻抗的相位和SOC之间的单调关系。因此,可以根据复阻抗的频率和测量时的温度来确定SOC。例如,尽管在35摄氏度下进行的测量之间的温度和测量次数不同,但相位测量仍然遵循曲线206所示的关系。其他温度下的测量也是如

此。因此,在一些实施例中,可以使用单相测量和测量时的温度来确定SOC。例如,如图4所示,在35摄氏度的温度下测量-6.5度的复阻抗测量209的相位对应于大约0.4的SOC,表明60%的电池容量已经耗尽。

[0043] 在一些实施例中,可以基于预测和/或计算的功率需求和SOC来确定电池的剩余寿命。例如,对于容量为2600mAh且SOC为0.5的非可充电电池,剩余容量将为1300mAh。使用可作为输入提供的预测功率需求,例如每天13mA的平均功率输入。电池的剩余寿命预计为100天。作为另一示例,对于容量为2600mAh且SOC为0.1的非可充电电池,剩余容量将为260mAh。可以根据使用时间和SOC来确定计算的功率需求。如果在运行9年后测量SOC为0.1,则平均功率需求可以计算为260毫安/年,并且电池的剩余寿命可以估计为1年。

[0044] 图6示出了在脉冲负载下对电池施加电流扰动的电压信号响应的相位和模量的演变的实验数据。通过向电池施加电流尖峰数秒,在间歇高负载下对亚硫酸氯锂电池进行放电,然后在无负载下弛豫20分钟。在弛豫状态下测量电池在5Hz下的复阻抗,并重复循环,直到电池完全放电至3V。间歇性高负载复制了一个用例,例如公用电仪表或物联网(IoT)传感器,该传感器定期激活,但在其他情况下保持休眠。顶板211示出了底板214的放大部分,其示出了在同一时间窗口内与电压和电流重叠的阻抗测量213的定时。间歇高负载对应于脉冲电压尖峰212。底板214示出了作为放电时间的函数的复阻抗的相位215和模量216。如面板211和214所示,尽管电池上的负载变化,但复阻抗的相位在放电时间上具有单调衰减。因此,阻抗的相位可以用作SOC的可靠指标。

[0045] 发明人还发现并认识到,这种相位响应因负载条件而异,有效地将相位响应分成两条独立的曲线。这意味着通过监测相位响应随时间的演变,可以确定亚硫酸氯锂电池的负载条件。因此,可以使用测量时的瞬时温度来执行这种方法。图7示出了根据本申请的非限制性实施例的电池的两种不同负载条件的相位响应曲线的模拟数据。该图显示了配置有不同放电率并在相同频率(x Hz)下测量的两个电池在运行寿命期间的模拟相位响应。在正常负载状态下,电池将缓慢放电,但在过载状态下,蓄电池将以加速速度放电。两个不同的相位响应曲线对应于慢放电速率702和快放电速率701的模拟相位。放电速率不仅改变了电池的工作寿命,而且还改变了相位响应随时间的变化。比较曲线701和702示出了相位响应遵循由其负载确定的不同多项式曲线。因此,相位响应的演变与电池负载之间存在强烈的相关性。图8中的实验数据证实了与相位和负载条件之间的离散关系相对应的模拟曲线。

[0046] 图8示出了复阻抗的相位与电池负载之间的关系关系的实验数据。将四个亚硫酸氯锂电池分别以不同的负载电流放电,直到端子电压达到3V。在放电期间,每个电池的放电负载电流保持恒定,并且在温度控制室中在大约26摄氏度下每小时进行一次5Hz的复阻抗测量。曲线221对应于以5mA的恒定电流放电的第一电池;曲线222对应于以10mA的恒定电流放电的第二电池;曲线223对应于以30mA的恒定电流放电的第三电池;和曲线224对应于在40mA的恒定电流下放电的第四电池。如图8所示,复阻抗的相位和SOC之间的相关性可以分成两个频带。以小于9mA的负载电流放电的电池遵循第一趋势曲线221,而负载大于10mA的电池遵循第二趋势曲线223和224。近似等于10mA的负载(曲线222)最初遵循第一趋势,但在大约50%SOC时偏离第二频带。

[0047] 在一些实施例中,使用复阻抗的相位的测量来确定电池的负载条件。此外,通过在电池放电期间多次测量复阻抗的相位,可以通过复阻抗的从一个趋势到另一个趋势的相位



变化来确定电池负载条件的变化。负载条件的这种变化可能与设备故障有关。因此,在一些实施例中,可以使用复阻抗的相位来确定设备故障。例如,小于或等于5mA的电流水平可以被认为是电池的典型使用。如果由电池供电的公用仪表被篡改和/或损坏,使得其从电池汲取更高的电流,则可以检测到从曲线221到曲线222、223或224的转变。

[0048] 上面的图1-8示出了在亚硫酸氯锂电池的整个寿命期间复合阻抗的演变。因此,如上所示和讨论的发现的关系可用于本文所述的方法和传感器/系统中,用于基于复阻抗确定亚硫酸氯锂电池的SOC、负载条件和早期故障检测。

#### [0049] 确定SOC

[0050] 根据本申请的一个方面,亚硫酸氯锂电池的充电状态是通过在已知温度下向电池施加单频电流扰动并测量所得的相位响应来确定的。例如,相位响应与充电状态相关,并且与电池的温度历史无关。因此,相位响应可以用作电荷状态的精确的一对一测量。

[0051] 发明人已经认识到,使用复阻抗测量来监测电池提供了挑战,因为复阻抗可能受到许多因素的影响。在一些电池中,如铅酸电池和锂离子电池,电池的运行历史将影响电池的复杂阻抗测量。例如,在操作期间,温度和电池负载可能会改变电池内化学和/或物理变化的发展。电池中的化学和/或物理变化可能影响从电池测量的复合阻抗。因此,电池状态(例如,充电状态)的准确性与电池的记录历史的准确性成比例。例如,持续记录操作历史(例如,电池的温度和负载)的监控器可以提供比记录不太频繁的操作历史的监控器更准确的电池状况。然而,更频繁地测量电池的工作温度和/或负载可能会增加用于监测电池的功率。

[0052] 复阻抗的不同参数可以不同地响应电池中的化学和/或物理变化。此外,在不同频率下测量的复阻抗可受到化学和/或物理变化的不同影响。因此,使用多个频率测量可以提供对电池内发生的变化的洞察。然而,使用多个频率会增加用于测量复阻抗的功率。测量电池寿命期间的工作温度和电池负载可以类似地提供对电池内发生的变化的洞察。然而,在电池寿命期间测量温度和负载条件可能会消耗多余的电力和存储。此外,不可能总是知道电池的运行历史。

[0053] 认识到使用复阻抗来监测电池状况的上述挑战,发明人开发了使用复阻抗的相位和测量时的温度来确定SOC的技术,其中复阻抗独立于电池的历史操作条件,并使用测量时的温度来确定SOC。在一些实施例中,在单个频率下测量复阻抗,其中复阻抗独立于电池的历史操作条件,并且使用测量时的温度来确定SOC。发明人进一步认识到,用于测量复阻抗的频率可影响测量的准确性和/或功耗。发明人已经认识到,虽然可以使用一些低频(例如,小于1Hz)来确定SOC,但是大于1Hz的频率可以提供更准确的测量,因为采集时间更短,并且通过扩展,更不易受执行测量的环境条件的波动的影响。此外,测量频率越低,电池消耗的电量就越多。例如,如果使用10mHz的频率,则测量将花费至少10秒,至少在测量期间从电池汲取电力。类似地,在高频(例如,千赫频率或更高频率)下,AC对阻抗的贡献可能超过DC贡献。本发明人已经认识到,测量阻抗由DC贡献支配的频率对于提供更精确的测量可能是有利的,并且可以另外实现用于生成频率扰动和/或检测阻抗响应的相位的更节能的硬件。

[0054] 图9示出了根据一些实施例的用于确定亚硫酸氯锂电池的SOC的方法900。在方法900开始之前,可以通过温度传感器检测电池的温度。温度传感器可以被配置为在方法900期间测量电池的温度。除了直接测量电池的温度之外或者作为直接测量电池温度的替代,

温度传感器可以被配置为测量负载设备的环境温度。另外,或者可替换地,温度传感器可以被配置为独立于方法900测量电池的温度,并且可以将结果存储在存储器中。在一些实施例中,可以响应于检测到感兴趣的温度范围内的温度并根据测量间隔(例如,小时、天、月或年)来启动方法900。例如,在一些实施例中,感兴趣的温度范围可以是 $-60^{\circ}\text{C}$ 至 $86^{\circ}\text{C}$ ,在其他实施例中可以是 $15^{\circ}\text{C}$ 至 $27^{\circ}\text{C}$ 。其他感兴趣的温度范围是可能的,因为在此描述的技术的方面在这方面不受限制。

[0055] 在一些实施例中,在方法900开始之前,可以基于目标精度和目标功耗来选择将测量复阻抗的测量频率。例如,可以选择较高的频率以降低功耗,而可以选择较低的频率以提高精度。在一些实施例中,可以使用多于一个的频率,代价是消耗额外的功率以提供更精确的测量。

[0056] 方法900通过向电池施加具有单个频率的电流扰动开始于阶段910。电池可以是AA尺寸的圆柱形电池。例如,电池可以是具有3.6V标称电压和2600mAh容量的亚硫酰氯锂电池。也可以使用其他电池化学成分和/或其他电池尺寸,因为在此描述的技术的方面不限于此。

[0057] 如上所述,发明人已经发现,对于亚硫酰氯锂电池,可以使用1至100Hz范围内的频率来确定电池的充电状态。例如,根据一些实施例,具有5Hz频率的正弦电流扰动可被施加到电池端子。作为另一示例,根据一些实施例,具有40Hz频率的正弦电流扰动可以应用于电池端子。

[0058] 接下来在阶段920,确定电池对所施加的电流扰动的复阻抗响应的相位。阻抗是包括电子电路的电阻和电抗的复数值。阻抗的幅值表示电压幅值与施加电流幅值的比值,而相位表示测量电压信号相对于施加电流扰动信号之间的相移。可以使用合适的传感器和处理单元来检测阻抗的相位。例如,传感器可以通过检测电池对电流扰动的电压响应来检测复阻抗,并且电压响应的相位可以由接收指示电压响应相位的信号的处理单元来确定。

[0059] 接下来在阶段930,确定电池的SOC。例如,根据一些实施例,SOC可以通过使用查找表来确定,该查找表基于电压响应来识别对应于复阻抗的测量相位的SOC。另外,或者可替换地,查找表可以基于基于电压响应的复阻抗的测量相位以及与测量的电压响应相关联的瞬时温度来识别SOC。与测量的电压相关联的温度可以是在方法900被启动并存储在存储器中之前测量的温度,或者是在方法900期间测量的温度并且可以包括电池本身的温度测量和/或环境温度测量。

[0060] 另外,或可替代地,基于SOC和测量电压响应之间的关系根据经验确定的方程可用于确定SOC。在一些实施例中,该方程可包括校正因子以调整与测量电压相关的温度。附加地或可替代地,可以使用对应于与测量的电压响应相关联的瞬时温度或温度范围的方程来确定SOC。

[0061] 当确定SOC时,方法900结束。在方法900的结论之后,可以将相位响应的相位和/或所确定的SOC存储在存储器中,以监测SOC随时间的变化。相位响应还可以结合方法1300和1400使用,如下面结合图13和14进一步详细描述。

[0062] 方法900可以在经过一段时间间隔之后从阶段910再次开始,以确定电池的稍后SOC。SOC的重复测量可用于监测设备的能量消耗速率和/或预测电池可能需要更换的时间。测量间隔可以基于用户输入或者可以由操作时间确定。在一些实施例中,SOC可以每2年、每

年或每6个月确定一次。在一些实施例中，SOC可以每小时、每天或每月确定一次。也可以使用SOC的其他测量间隔，因为在此描述的技术的方面在这方面不受限制。

[0063] 本申请的各方面提供了一种传感器，该传感器可以与上面结合图9描述的方法结合使用。传感器可以被配置为根据方法900确定SOC。传感器可以另外包括温度传感器，以检测电池的瞬时温度或负载设备的环境温度。

[0064] 图10示出了根据本申请的非限制性实施例的耦合到电池的传感器。传感器1000被配置为确定电池1004的SOC。传感器1000包括频率发生器1001和阻抗探针1002，并使用这些部件测量电池1004的相位响应。例如，频率发生器1001可以产生具有施加到电池1004的端子的频率的电流扰动。例如，频率发生器1001可以产生5Hz电流脉冲。阻抗探针1002被配置为在频率发生器1001施加的频率下监测电池的相位响应。智能监视器1003控制频率发生器1001并读取阻抗探针1002的响应。

[0065] 附加地或替代地，传感器1000可以被配置为确定电池负载上的负载和/或提供高级故障检测。在一些实施例中，智能监视器1003可以被配置为基于复阻抗的相位响应来确定电池上的负载。例如，传感器1000可以被配置为实现以下结合图13描述的负载检测的方面，例如方法1300。在一些实施例中，传感器1000可以被配置为基于复阻抗的相位响应提供高级故障检测。例如，传感器1000可以被配置为实现下面结合图14描述的高级故障检测的方面，例如方法1400。作为另一示例，传感器1000可以被配置为基于电池的复阻抗测量来实现方法900、1300和/或1400，如本文所述。

[0066] 图11示出了根据本申请的非限制性实施例的耦合到电池1101的图10的传感器1000的实现的非限制示例。在所示实施例中，传感器1000包括阻抗硬件1100、电池测试器/负载1103、处理器1110、读出/PC 1102和温度传感器1107。阻抗硬件1100可以配置有4/2端子连接或具有2个端子的负载电阻器。处理器1110预装有固件和软件，包括算法和应用层，以从阻抗硬件确定SOC并与读出/PC 1102交互。阻抗硬件可以由电池本身供电，或者绕过电池使用外部电源。在一些实施例中，阻抗硬件1100可以是ADI AD5940高精度、阻抗和电化学前端。在所示实施例中，电池测试器或负载设备1103经由数字I/O 1104与处理器1110通信，并且阻抗硬件1100经由串行外围接口(SPI) 1105与处理器1110通信。处理器经由传输控制协议/因特网协议(TCP/IP) 端口1106(或任何其他串行端口)将结果传送到读出/PC 1102。处理器1110可以包括固件、算法和应用层，用于实现确定SOC、负载条件和高级故障检测的方法，如本文所述。

[0067] 在一些实施例中，电池测试器/负载1103被配置为以设定电压和/或电流从电池向负载提供电力。例如，当在公用电仪表中实现时，电池测试器/负载1103可以感测负载引线两端的实际输出电压，并调整电池测试器或负载1103的内部特性(例如，电阻)，使得提供给公用电仪表的实际输出电压与设定电压匹配。附加地或替代地，电池测试器/负载1103可以被配置为向电池提供模拟负载，从而可以在设定负载下测试电池。

[0068] 在一些实施例中，温度传感器1107被包括在电池硬件中以测量电池的温度。温度传感器1107可以包括用于测量电池温度的热电偶1108。温度传感器1108通过数字I/O 1109与处理器通信。在一些实施例中，温度传感器包括在阻抗硬件1100中。在其他实施例中，温度传感器可以与阻抗硬件1100分离。

[0069] 在一些实施例中，电池1101是单电池。例如，电池1101可以是标称电压为3.6V、容

量为2600mAh的AA尺寸圆柱形电池亚硫酸氯锂电池。电池1101可以包括其他电池尺寸和/或化学成分,因为这里描述的技术的方面不限于此。在其他实施例中,电池1101可以是包括被配置为提供公共输出的多个电池的多电池组电池。

[0070] 图12是根据本申请实施例的传感器的软件和固件实现。软件记录用户输入,确定SOC,并向用户提供输出反馈。用户可以提供用户输入1201,包括电池尺寸1201a、SOC间隔1201b、测量选项1201c、单个测量触发器1201d、预期电流水平1201e和/或重置按钮1201f。电池尺寸1201a用户输入可以包括电池化学性质和要确定SoC的电池单元尺寸。例如,电池可以是亚硫酸氯锂电池、电池类型AA、C或D。测量选项1201c用户输入可以包括每次测量使用小于0.05mA的功率的低精度模式、每次测量使用0.05mA和0.5mA之间的高精度模式、以及可以在多于一个离散频率或通过使用频率扫描来测量阻抗的多频率模式。

[0071] 使用用户输入1201,系统计算SOC估计将需要的总功率1202。例如,系统可以基于用户输入1201a、1201b和1201c来计算SOC估计将需要的总功率。在一些实施例中,在计算总功率之后,系统向用户发送确认请求,以检查功率预算是否可接受以及板上的所有硬件设置是否正确。用户设置和硬件设置存储在初始设置1214中。在一些实施例中,如果用户输入1201c被设置为多频率模式,则由于多频率测量的功耗增加,系统可以向用户发送使用外部电源的建议。如果可用,则用户可以选择外部电源来为测量提供电力。否则,用户可以继续使用来自电池的电力来进行多频率测量,代价是额外的电力消耗。

[0072] 如果选择SOC 1201b的间隔,则每个间隔自动进行测量。内部时钟1210可以提供定时信息,例如时间戳,用于根据间隔1201b确定何时开始测量1203。如果间隔设置为0,则系统等待启用“单一测量触发器”1201d以进行测量。

[0073] EIS和温度测量1203根据初始设置1214测量电池的复阻抗。可以通过根据间隔1201b从内部时钟1210接收的定时信号或者通过用户输入单个测量触发器1201d来启动测量。在一些实施例中,电池的温度测量包括在电池的复阻抗的测量中。在其他实施例中,温度测量可以在复阻抗测量之前进行,以检查电池的温度是否在用于测量复阻抗的期望温度范围内。例如,所需温度范围可能在20°C和40°C之间。作为另一个示例,期望的温度范围可以在20°C和30°C之间。作为另一个示例,期望的温度范围可以在22°C和28°C之间。测量的复阻抗值可以作为加密数据存储存储在数据日志1216中。

[0074] 所测量的复阻抗值由算法类1204处理以产生包括SOC 1217的输出1205。算法类1204接收复阻抗并确定相应的SOC 1217,如本文所述。所确定的SOC 1217被存储在SOC日志1208中。算法类1204还可接收初始设置1214、负载设置1207和/或温度测量,其可用于基于复阻抗确定SOC 1217。在一些实施例中,输出1205还包括故障标志1218。算法类1204基于负载设置1207和确定的SOC 1217生成故障标志1218,以基于先前的SOC确定来估计电池的剩余寿命或预期SOC。如果所确定的SOC 1217与预期SOC不匹配,则算法类1204可以产生故障标志1218。故障标志1218可以存储在故障日志1209中,并且可以指示已经检测到所确定的SOC 1217和预期SOC之间的变化。

[0075] 负载设置1207包括存储的用户输入预期电流电平1201e。负载设置可以包括预期电流,例如预期平均工作电流、预期最大峰值电流和预期最小剩余电流。在一些实施例中,负载设置还可以包括预期的温度值,例如预期的平均工作温度、预期的最高温度和预期的最低温度。在一些实施例中,可以基于负载和/或温度的测量值的结果来更新负载设置。

[0076] 在一些实施例中,错误可以存储在调试日志1215中。例如,关于代码流、板状态、寄存器值或端口之间的通信错误的跟踪错误可以存储在调试日志1215中。

[0077] 如果更换了电池,则用户将按下重置按钮1201f以清除设置并重新开始新的测量或一组测量。在一些实施例中,来自重置按钮1201f的用户输入可以清除SOC日志1208、故障日志1209,而调试日志1215和数据日志1216可以指示重置已经发生,但将保留现有日志信息。在其他实施例中,响应于来自重置按钮1201f的用户输入,可以清除所有日志。在另一些实施例中,日志可以被传送到存档,并且新的日志可以响应于来自重置按钮1201f的用户输入而被初始化。

#### [0078] 确定负载条件

[0079] 根据一些实施例,电池的负载条件可以通过相位响应来确定。电池对所施加的单频电流扰动的相位响应可用于确定所述电池的操作负载是否在正常操作范围内或超过正常操作范围。通过测量电池对随时间施加的单频电流扰动的相位响应。记录的相位响应将显示相位响应是如何演变的。在正常负载下,相位的演变遵循第一条趋势线,然而当电池上的负载超过正常负载时,相位的变化遵循第二条趋势线。因此,通过监测电池的相位响应的演变,可以确定该电池是否在正常负载或高于正常负载下运行。

[0080] 图13示出了根据一些实施例的用于确定电池的负载状态的方法1300。在方法1300开始之前,可以确定电池的初始负载条件。例如,当电池被安装并存储在存储器中时,用户可以测量负载状况。作为另一示例,用户可以选择预期的操作时间,例如,小于1年、1至5年、5至10年、10至20年或20至30年。在一些实施例中,方法1300可以在检测到感兴趣的温度范围内的温度以及自检测到复阻抗的最后相位起经过的时间之后启动。

[0081] 方法1300通过向电池施加具有频率的电流扰动开始于阶段1310。如上所述,参考图9的阶段910,电池可以是亚硫酰氯锂电池,并且可以使用1至100Hz范围内的单个频率来确定电池的负载条件。

[0082] 接下来在阶段1320,确定电池对所施加的电流扰动的阻抗响应的相位。如上所述,参考图9的阶段920,合适的检测器可以检测电池的电压响应电流扰动的复阻抗,并且电压响应的相位可以由接收指示电压响应的信号的处理器的处理器确定。

[0083] 在一些实施例中,可以另外检测与阻抗的相位响应相关联的温度。传感器,被配置为结合确定阻抗响应的相位来检测电池的瞬时温度或负载设备的环境温度。温度可以作为方法1300的一部分被检测,或者可以与方法1300分离地被检测并存储在存储器中。

[0084] 接下来在阶段1330,确定电池的负载条件。可以使用电池对施加的电流扰动的阻抗响应的相位来确定负载条件。对于AA尺寸圆柱形电池的亚硫酰氯锂电池,正常负载可考虑小于9mA,高负载可考虑大于10mA。对于9mA和10mA之间的负载,可能表现出双重行为。在高SOC(例如, $SOC > 0.5$ )的情况下,电池的阻抗响应的相位可以遵循与正常负载条件相关的趋势。在低SOC( $SOC < 0.5$ )的情况下,电池的阻抗响应的相位可以遵循与高负载条件相关联的趋势。

[0085] 根据一些实施例,可以使用相位响应值和初始负载条件的查找表来确定负载条件。如上所述,在不损坏电池的情况下,相位响应遵循正常负载趋势或高负载趋势。因此,当已知或已经确定初始负载条件时,可以对照包含每个趋势的值的查找表来参考测量的相位响应,并且可以识别电池的负载条件。

[0086] 可替代地或附加地,可以使用基于正常与高负载条件的确定趋势的方程来分析测量的相位响应。这些方程可以适合于一系列测量的相位响应,以确定电池的负载条件,或者这些方程可以使用初始负载条件。在一些实施例中,用于确定电池的负载条件的查找表和/或方程可以包括校正或附加变量,以说明与阻抗响应的相位相关联的温度。

[0087] 在一些实施例中,阶段1310和1320可以在确定负载条件之前重复多次。响应于预期操作时间,可以使用与预期操作时间的大约10-20%相对应的初始周期来测量电压响应的相位并确定电池的初始负载条件。例如,对于安装在公用电仪表中的预期使用年限为10年的亚硫酸氯锂电池,第一年可用于确定电池的初始负载条件。因此,根据一些实施例,可以在第一年期间确定电压响应的相位5次、10次或15次。在收集了电压响应确定之后,可以将测量值与查找表进行比较,以确定初始负载是否匹配初始正常负载或初始高负载。在初始负载条件的确定期间,可以使用少于5次的电压响应相位的确定,或者多于15次的电压反应相位的确定来确定初始负载条件,因为这里描述的技术的方面在这方面不受限制。

[0088] 当确定负载条件时,方法1300结束。在方法1300的竞争之后,该方法可以在时间间隔结束之后再次开始。例如,如上所述,负载条件测量可以每小时、每天、每年或每两年重复一次。

#### [0089] 电池检测故障

[0090] 如上所述,对于本文所述的电池类型,电池对所施加频率的相位响应可以表现出与SOC的强相关性。鉴于此,通过监测相位响应随时间的演变,可以为电池提供早期故障检测。典型的亚硫酸氯锂电池的相位响应的演变遵循两种趋势之一,即正常负载条件或高负载条件。如果电池的相位演变不遵循正常负载或高负载趋势,则电池不是典型的,存在早期故障的风险。

[0091] 图14示出了根据一些实施例的用于电池的早期故障检测的方法1400。在方法1400开始之前,先前测量的复阻抗值可用于基于负载条件预测复阻抗的期望值。如上所述,期望复阻抗的相位遵循正常负载条件的趋势或高负载条件的倾向,因此相位和负载条件的测量值可用于生成相位的期望值。例如,当电池继续放电时,可以将根据经验确定的表示预期负载条件下相位对SOC的依赖性的方程外推到测量相位的预期值。预期值可以存储在存储器中,用于与测量值进行比较。

[0092] 方法1400通过向电池施加具有频率的电流扰动开始于阶段1410。如上所述,参考图9的阶段910,电池可以是亚硫酸氯锂电池,并且可以使用1至100Hz范围内的单频电流扰动来确定电池的负载条件。然而,在一些实施例中可以使用其他类型的电池。

[0093] 接下来在阶段1420,确定电池对所施加的电流扰动的阻抗响应的相位。如上所述,参考图9的阶段920,合适的检测器可以检测电池对电流扰动的电压响应,并且电压响应的相位可以由接收指示电压响应的信号的处理器的处理器确定。

[0094] 接下来在阶段1430,使用电池的阻抗响应的相位来确定电池是否易于早期故障。为了确定电池是否易于早期故障,可以将阻抗响应的相位与对应于正常负载或高负载条件的预期值进行比较,如上文结合图13的阶段1330所述。如果电池的阻抗响应的相位与预期值相匹配,则电池可被识别为不易发生早期故障的健康电池。相反,如果电池的阻抗响应的相位与正常负载或高负载条件的预期值不匹配,则电池可能被识别为易于早期故障。在一些实施例中,可以将阻抗的相位响应与对应于正常负载和高负载条件的查找表进行比较。

在其他实施例中,对于正常负载和高负载条件,可以将阻抗的相位响应与基于阻抗相位响应随时间演变的趋势的方程进行比较。

[0095] 在一些实施例中,使用与阻抗响应的相位相关联的瞬时温度来确定阻抗的阻抗响应相位是否与电池的正常或高负载条件一致。

[0096] 在确定电池是否容易发生早期故障之后,方法1400结束。在确定电池容易发生故障之后,可激活警报指示器,以向技术人员指示在故障之前应检查和/或更换电池。

[0097] 本申请的各方面提供了一种传感器,该传感器可以与上面结合图13和14描述的方法结合使用。根据一些实施例,传感器可以被配置为检测电池的负载状况,并使用电池对频率扰动的阻抗响应的相位提供早期故障检测。

[0098] 图15示出了根据本申请的非限制性实施例的可以结合传感器系统向用户提供的图形用户界面通知,以确定SOC、检测电池上的负载和/或提供高级故障检测。所示实施例示出了智能监视器1003,其被配置为根据本文描述的技术的方面来确定SOC、负载检测和高级故障检测。如图15所示,智能监视器还可以被配置为向用户界面提供视觉指示器,以指示电池的状况。例如,当确定电池的SOC时,可以在反映SOC的接口上输出仪表602。SOC可以可视地指示为空和满之间的值。当确定电池的负载异常时,可以向用户接口输出异常负载警告指示符603。当确定电池是否容易发生故障时,故障电池601的图形指示器可以输出到用户界面。可以使用其他指示符,因为在此描述的技术的方面不限于此。

[0099] 图16示出了根据本申请的非限制性实施例的公用电仪表。公用电仪表由电池1601供电。传感器1602内置于公用电仪表中,用于测量电池对施加频率的相位响应。使用测量的相位响应,传感器监测充电状态,检测负载,并提供高级故障检测。传感器可以设置为以间隔或按需测量相位。电池1601可以在其使用寿命结束时更换为新电池,此时传感器可以重新配置以开始监测新电池。传感器不需要用电池更换,而是可以简单地重置,从而允许单个传感器在公用电仪表的整个操作寿命内保持配置到公用电仪表。

#### [0100] 复阻抗的附加分量

[0101] 上面描述的用于确定SOC、负载条件和检测故障电池的技术的一些方面已经关于复阻抗的相位进行了讨论。然而,可以使用复阻抗的其他分量来代替或补充复阻抗的相位。例如,可以使用复阻抗的幅值、复阻抗的实分量和/或复阻抗的虚分量来代替或补充复阻抗的相位。例如,可以使用复阻抗的虚分量来确定SOC。结合图1-16描述复阻抗的相位与SOC、负载条件和早期故障检测之间的关系的上述方面也适用于复阻抗的虚分量。例如,复阻抗的虚分量与SOC之间的关系也是单调的,这将在下面进一步讨论。因此,利用与复阻抗的相位和SOC之间的单调关系相关联的优点的方法和传感器/系统也可以使用复阻抗的虚分量来代替或代替复阻抗的相。

[0102] 图17示出了在相同温度下多个电池的复阻抗的虚分量与SOC之间的关系的实验数据。曲线243对应于第一亚硫酰氯锂电池,曲线244对应于第二亚硫酰氯电池。第一和第二电池都是AA尺寸的圆柱形电池,标称电压为3.6V,容量为2600mAh。将电池保持在大约26摄氏度,并以5mA的恒定电流从3.7V的初始电压放电到3.0V的最终电压。使用频率为5Hz的正弦激励,每小时进行一次用于监测充电状态的复杂阻抗测量,阻抗测量使用12mA的交流峰间振幅。在图17中,当电池是新的时,SOC被定义为1,当端子电压达到3V时,SOC为0。如曲线243和244的重叠所示,对于相同尺寸的亚硫酰氯锂电池,电压信号响应于施加电流扰动的虚分



量分与充电状态之间的关系是单调的且可再现的。

[0103] 图18示出了复阻抗的虚分量与SOC之间的关系的实验数据。将标称电压为3.6V、容量为2600mAh的AA尺寸圆柱形锂亚硫酸氯电池在温度控制室中以5mA的恒定电流放电,直到端子电压达到3V,室的温度在10℃和35℃之间随机变化。如图18所示,复阻抗的虚分量的测量相对于SOC是单调的,如曲线241和242所示。曲线241表示在35摄氏度时复阻抗的虚分量与SOC之间的单调关系;曲线242表示在10摄氏度时复阻抗的虚分量与SOC之间的单调关系。

[0104] 图19示出了在不同温度下多个电池的复阻抗的虚分量与SOC之间的关系的实验数据。曲线245对应于26.5摄氏度下的第一亚硫酸氯锂电池;曲线246对应于35摄氏度下的第二亚硫酸氯锂电池;曲线247对应于15摄氏度下的第三亚硫酸氯锂电池。三个电池中的每一个都是AA尺寸的圆柱形电池,标称电压为3.6V,容量为2600mAh。三个电池在单独的温度控制室中以5mA的恒定电流放电,直到端子电压达到3V。每小时对曲线245、246和247进行一次阻抗测量。如图19所示,在每个温度下,电荷状态与电压信号响应于施加电流扰动的复阻抗的虚分量之间的关系是单调的。

[0105] 因此,如上所述,参照图1至图16中从复阻抗的相位确定SOC,可以类似地从复阻抗和测量时的温度的虚分量确定SOC。上述相同的过程同样适用于复阻抗的虚分量,如图17-19所示。

[0106] 发明人已经认识到并认识到,尽管遵循与SOC相关的类似单调趋势,在电池寿命的第一部分期间使用复阻抗的第一分量和在电池寿命第二部分期间使用第二分量可以提供诸如降低SOC确定过程的功耗或提高SOC确定过程精度的优点。例如,在某些SOC值下,相对于复阻抗的其他分量,复阻抗的虚分量可能不太依赖于测量时的温度。因此,对于一些应用,虚分量可以提供更节能的和/或SOC的精确确定。然而,在某些SOC值下,复阻抗的相位可以提供更准确的SOC确定。因此,发明人已经开发了多种方法,其中复阻抗的一个以上的分量可以用于确定SOC。在一些实施例中,复阻抗多个分量的组合可以用来确定SOC。例如,复阻抗的相位和虚分量都可以被确定,并且都可以被用于确定SOC。

[0107] 在一些实施例中,可以在电池寿命的第一部分期间使用复合阻抗的第一分量,并且一旦SOC下降到预定值,可以在该电池寿命的第二部分期间使用该复合阻抗的第二分量。例如,当SOC在1和0.5之间时,可以使用复阻抗的虚分量来确定SOC。一旦电池达到0.5的SOC,可以使用复阻抗的相位来确定SOC。在其他实施例中,使用复阻抗哪些分量来确定SOC之间的过渡可以是0.3和0.7之间的SOC。使用复阻抗的哪些分量来确定SOC之间的转换可以在SOC的其他值处发生,因为本文所描述的技术的方面在这方面不受限制。

[0108] 以上描述的用于确定SOC、负载条件和检测故障电池的技术的一些方面已经针对亚硫酸氯尺寸AA电池进行了讨论。然而,也可以使用其他电池化学成分和/或电池尺寸。因此,根据一些实施例,用于探测SOC的频率可以至少部分地取决于不可再充电电池的类型。另外,或者可替代地,用于探测SOC的频率可以至少部分地取决于确定电池的尺寸。

[0109] 本文定义和使用的定义应理解为控制字典定义、通过引用合并的文件中的定义和/或定义术语的普通含义。

[0110] 已经描述了在电路和/或计算机可执行指令中实现技术的实施例。应当理解,一些实施例可以是方法的形式,其中提供了至少一个示例。作为方法的一部分执行的动作可以以任何合适的方式排序。因此,可以构造实施例,其中以不同于所示的顺序执行动作,这可



以包括同时执行一些动作,即使在说明性实施例中所示为顺序动作。

[0111] 上述实施例的各个方面可以单独使用、组合使用或以在前述实施例中未具体讨论的各种布置使用,因此其应用不限于前述描述中阐述的或附图中示出的部件的细节和布置。例如,一个实施例中描述的方面可以以任何方式与其他实施例中所描述的方面组合。

[0112] 在权利要求中使用诸如“第一、第二、第三”等序数词来修改权利要求要素本身并不意味着一个权利要求要素相对于另一权利要求要素的任何优先权、优先权或顺序,也不意味着一种方法的行为的时间顺序,但仅用作标签,以将具有特定名称的一个声明元素与具有相同名称的另一个元素区分开来(但使用序数词)。

[0113] 本说明书和权利要求书中使用的不确定条款“一个”和“一种”,除非明确相反,应理解为“至少一个”

[0114] 此处说明书和权利要求中使用的短语“和/或”应理解为指如此联合的元素中的“一个或两个”,即,在某些情况下联合存在的元素,在其他情况下分离存在的元素。与“和/或者”一起列出的多个元素应以相同的方式进行解释,即如此联合的“元素中的一个或多个”。除“和/或”条款明确标识的元素外,其他元素可以可选地存在,无论是否与明确标识的那些元素相关或无关。

[0115] 如本文在说明书和权利要求书中所使用的,短语“至少一个”,参考一个或多个元素的列表,应理解为指从元素列表中的任何一个或更多个元素中选择的至少一个元素,但不一定包括元素列表中具体列出的每个元素中的至少一个,并且不排除元素列表中的元素的任何组合。该定义还允许元素可选地存在于短语“至少一个”所指的元素列表中特定标识的元素之外,无论是否与特定标识的那些元素相关。

[0116] 在权利要求书中以及在上述说明书中,所有过渡短语如“包含”、“包括”、“携带”、“具有”、“含有”和“涉及”、“持有”、“组成”等都应理解为是开放的,即指包括但不限于。只有过渡短语“由”和“基本由”分别为封闭或半封闭过渡短语。

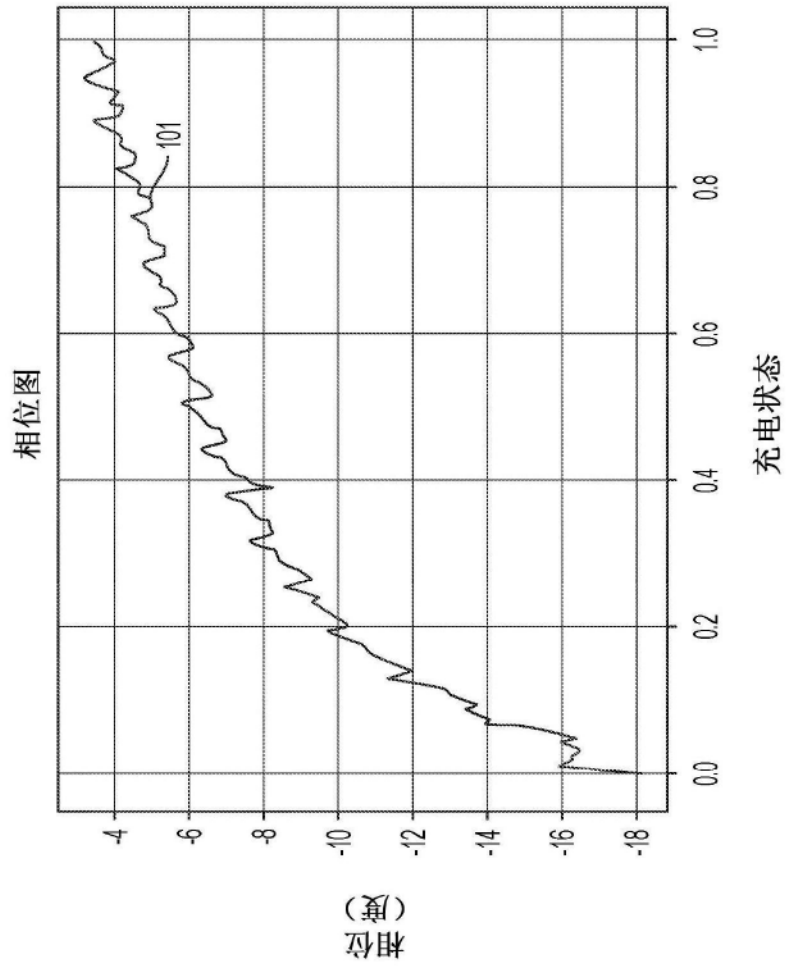


图1

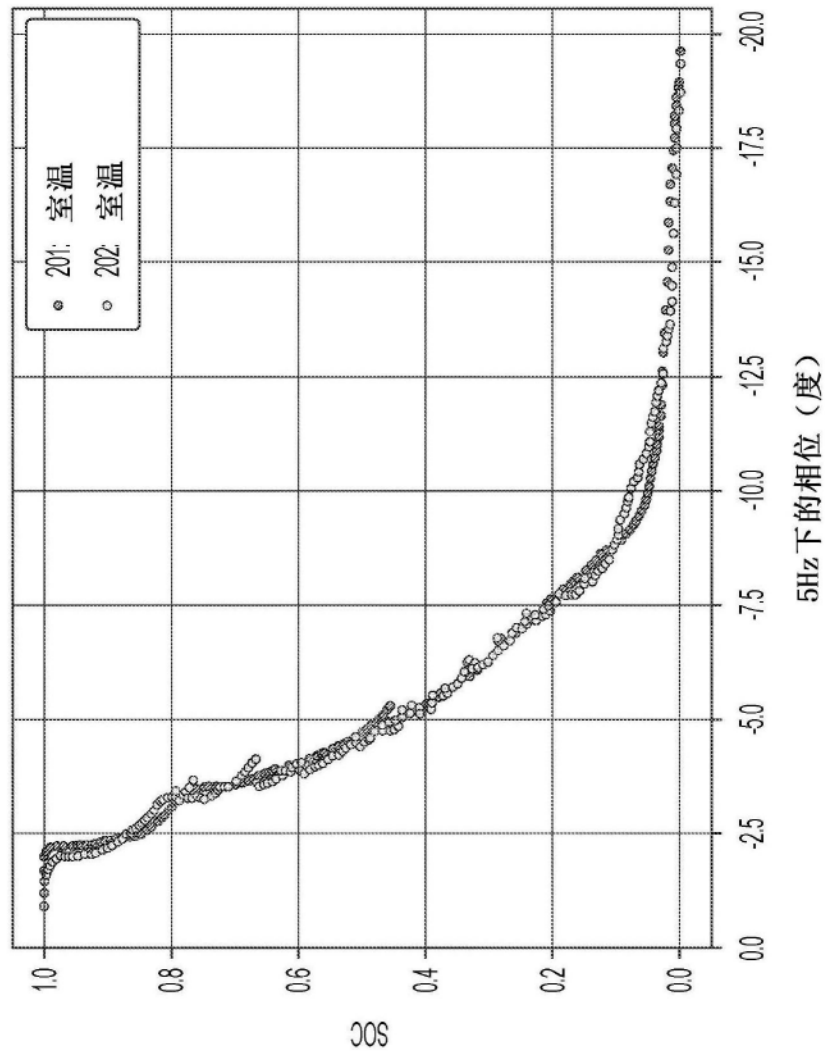


图2

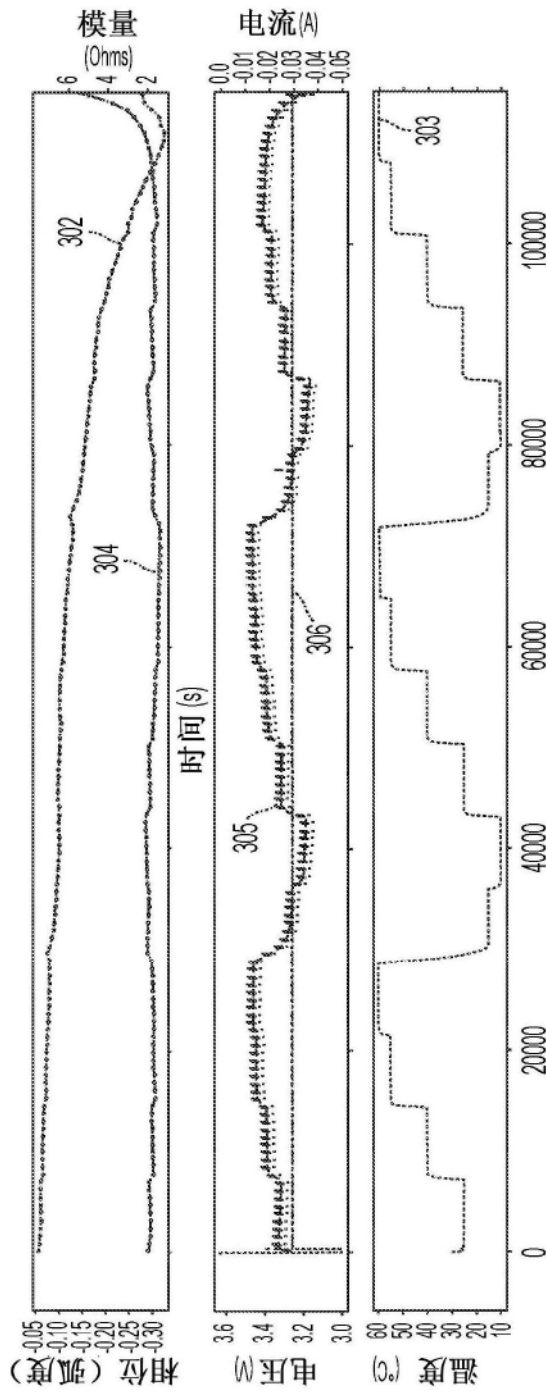


图3

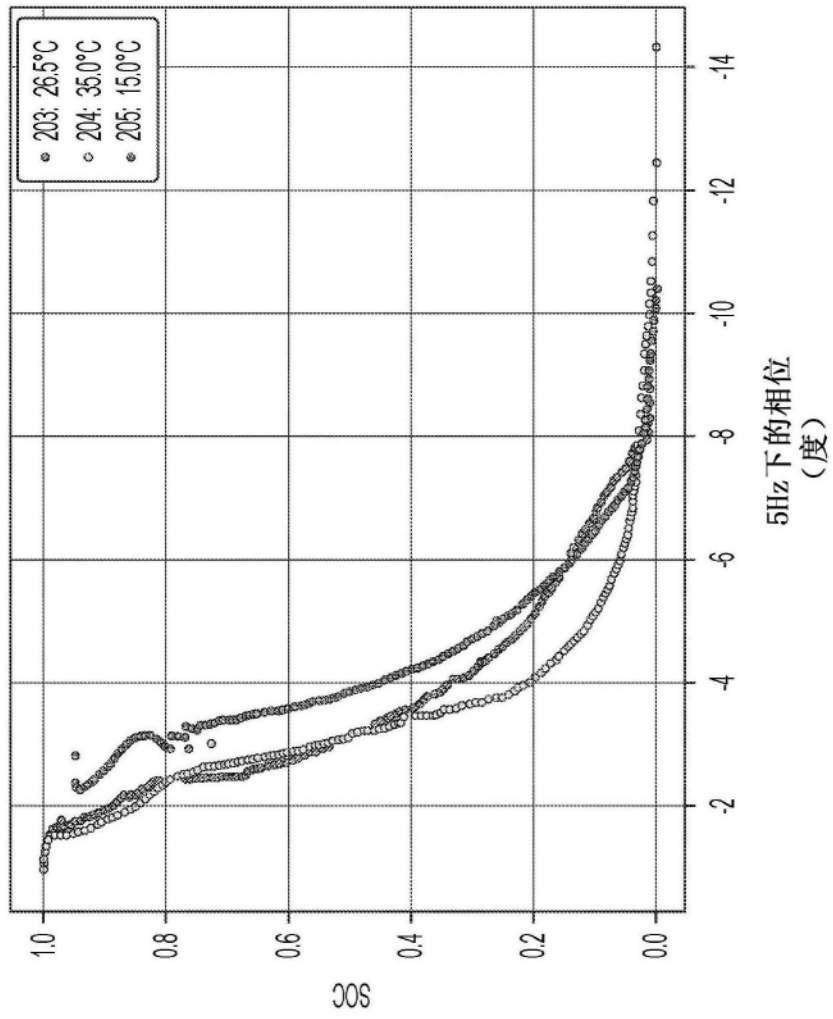


图4

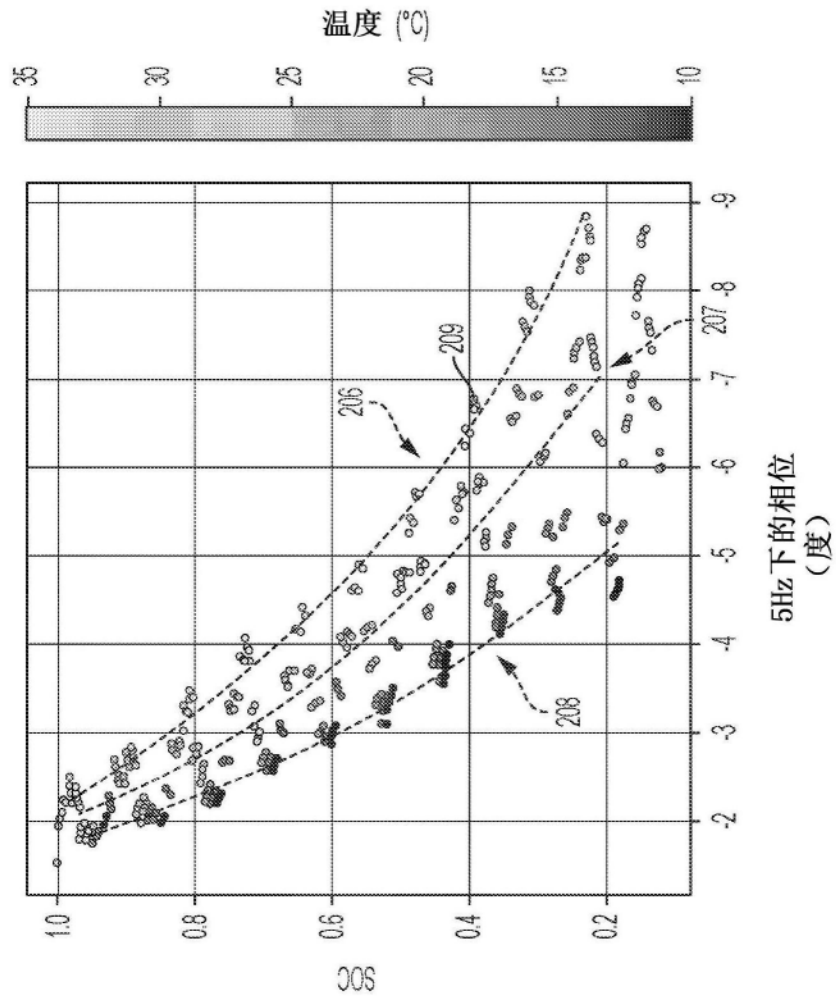


图5

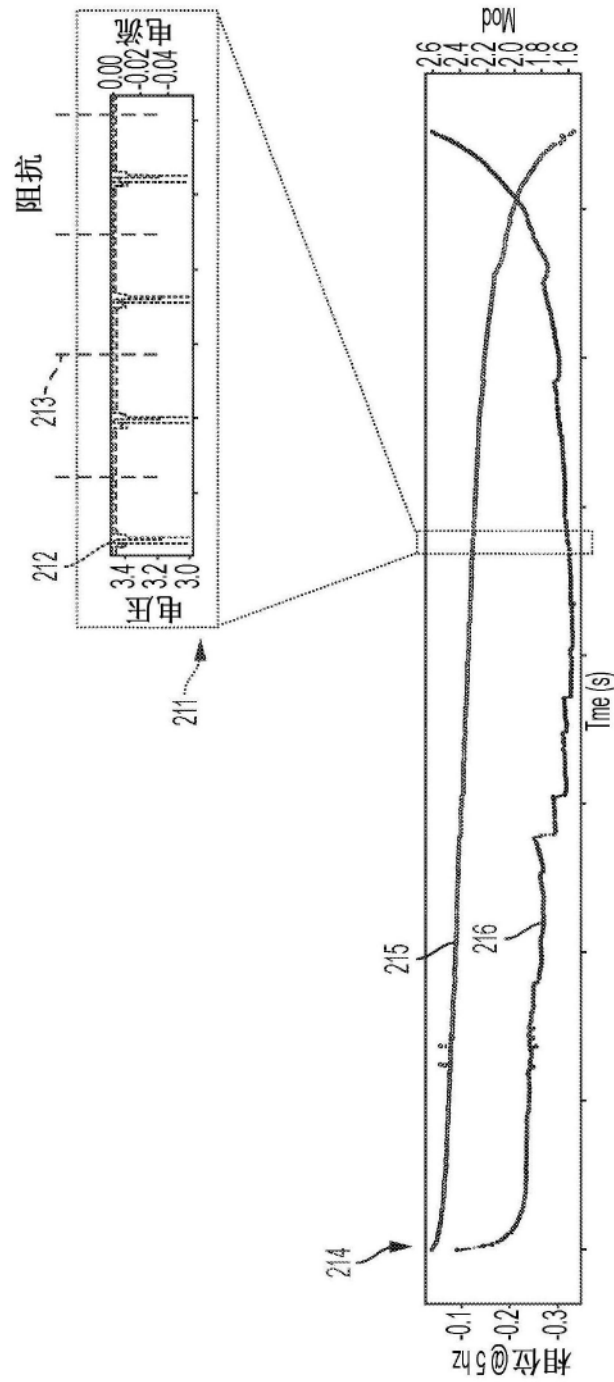


图9

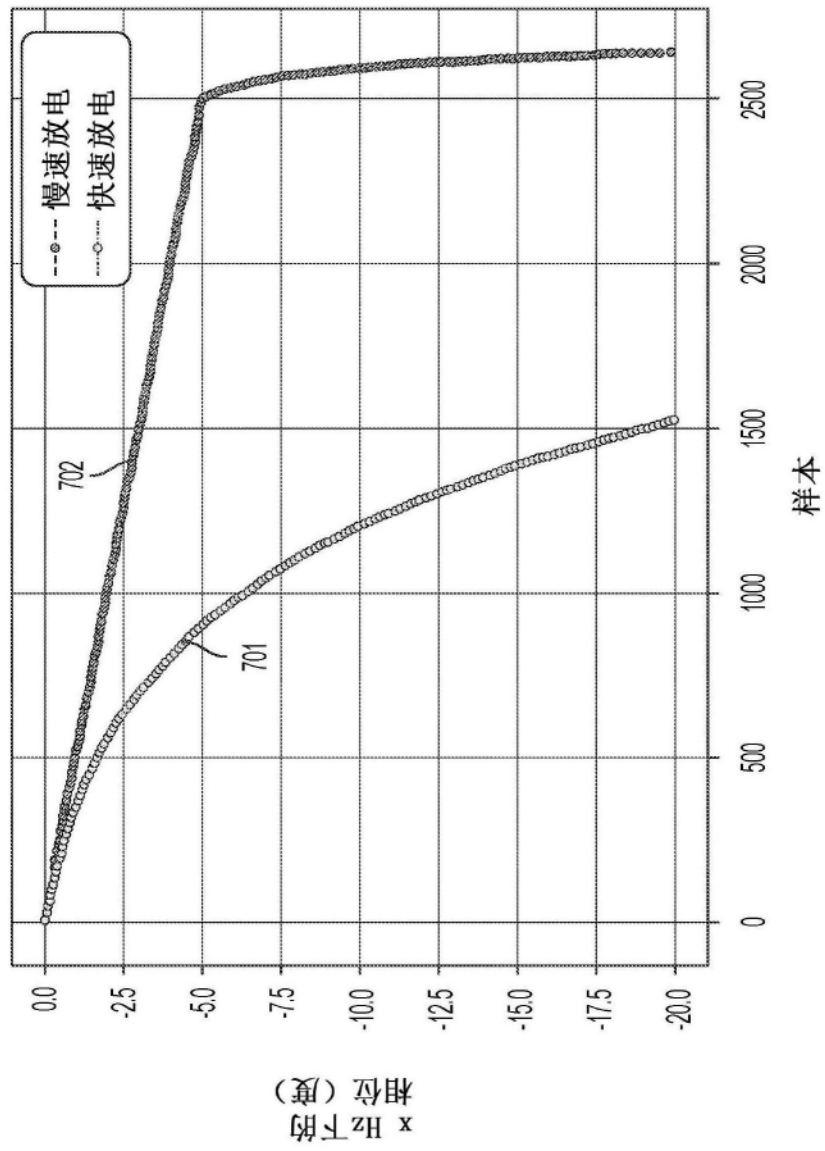


图7



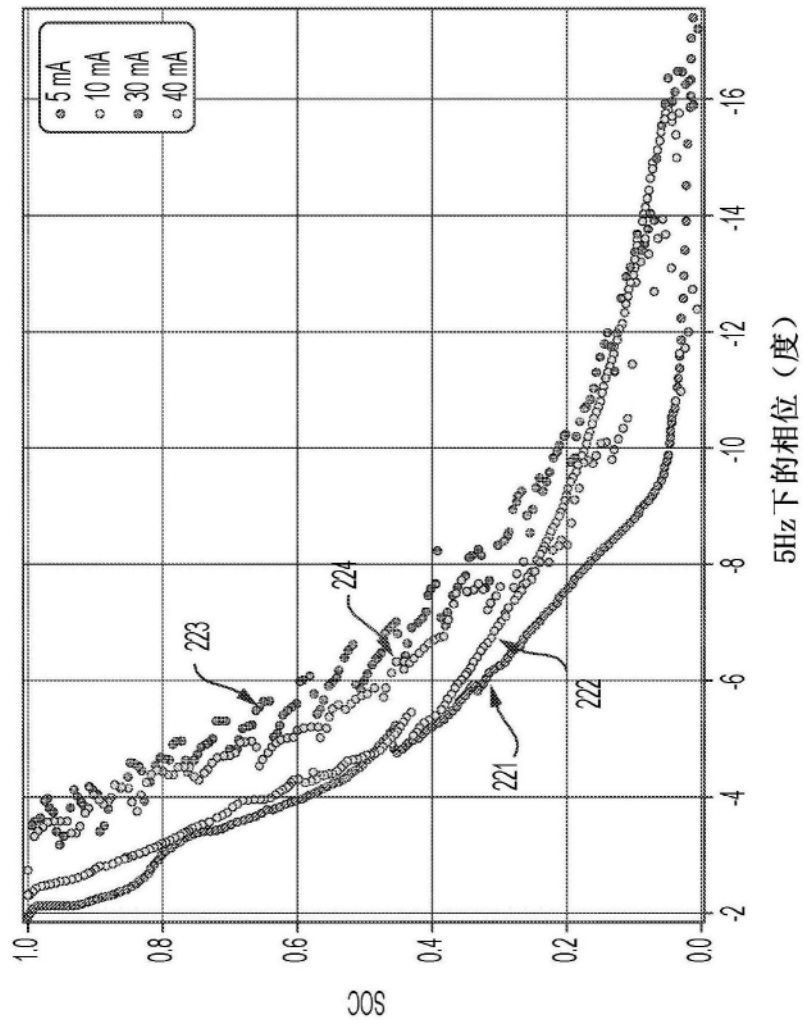


图8

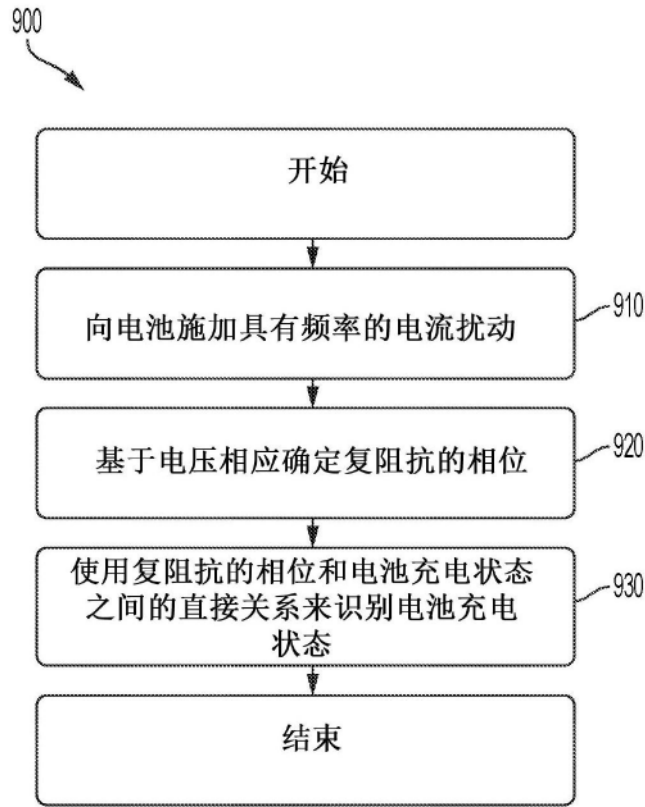


图9

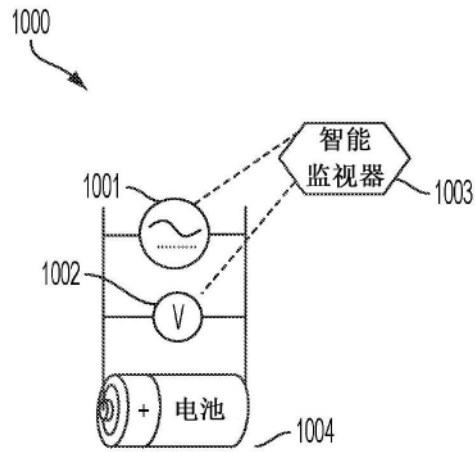


图10

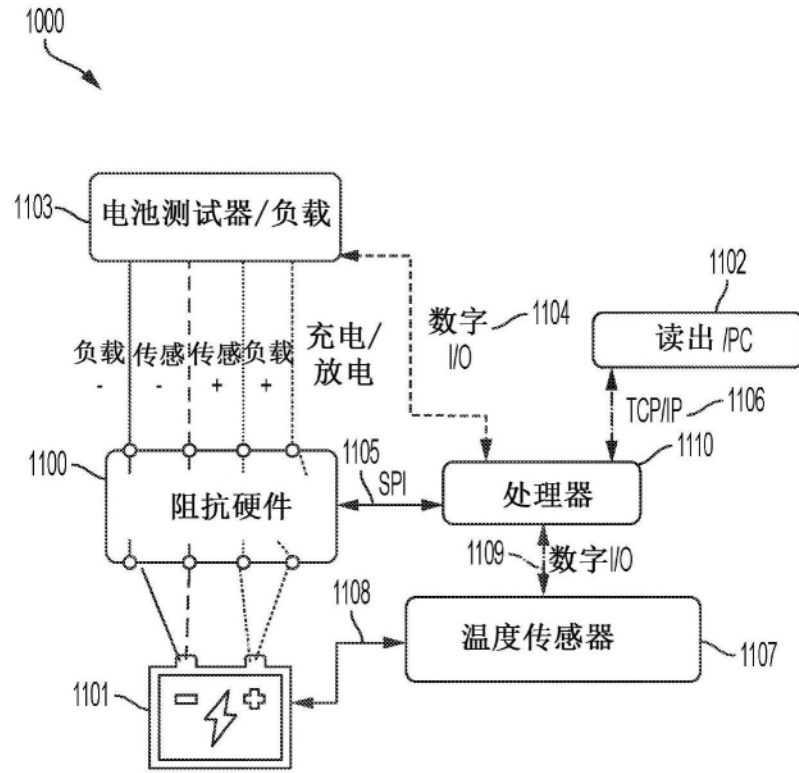


图11

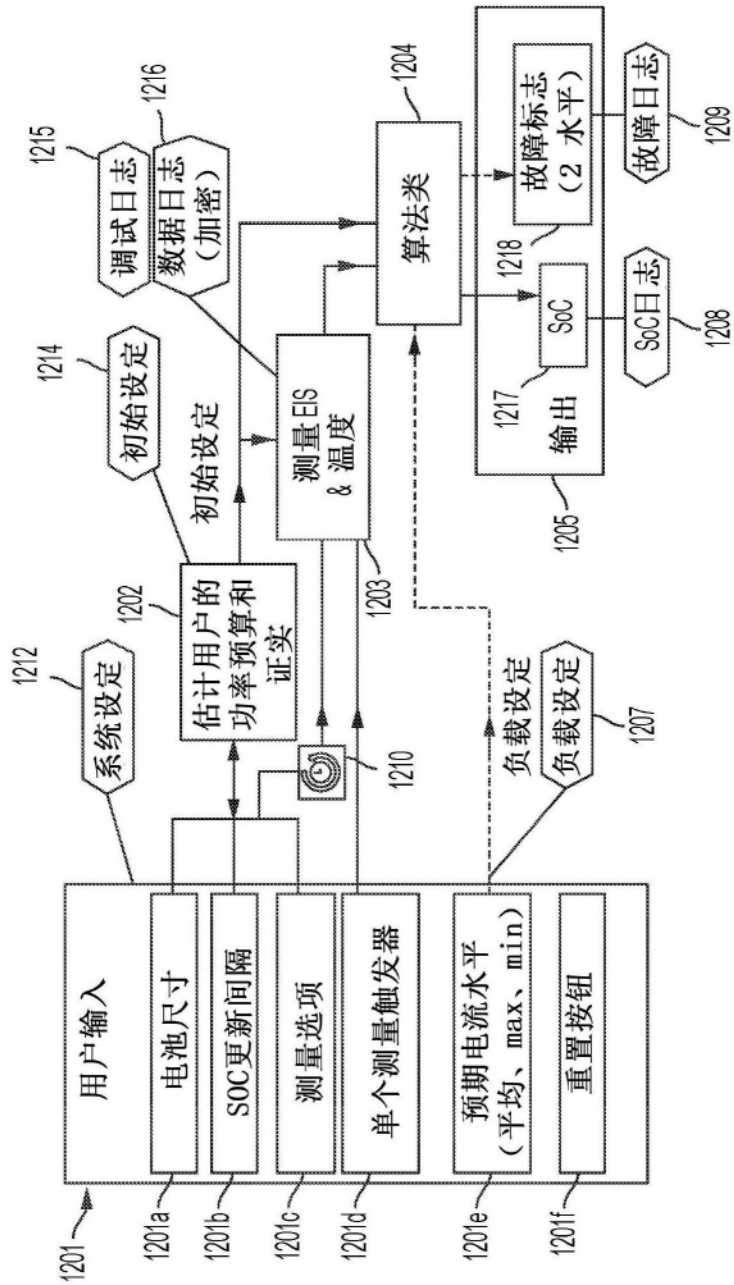


图12

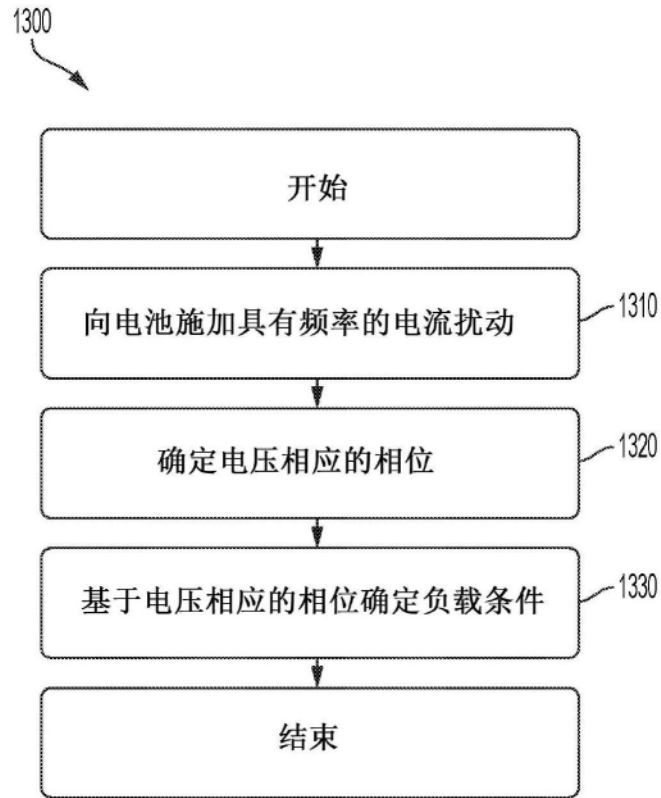


图13

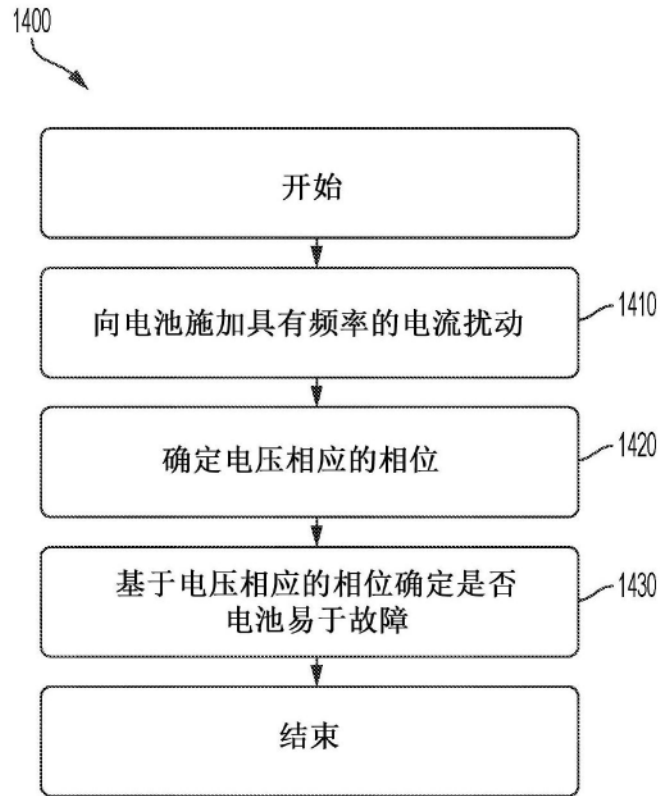


图14

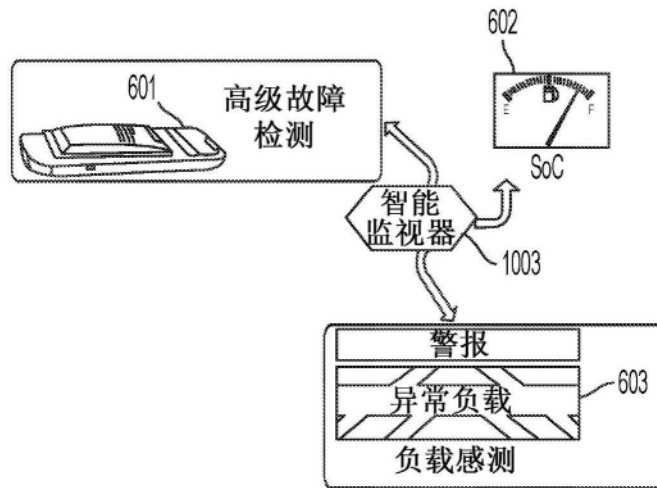


图15

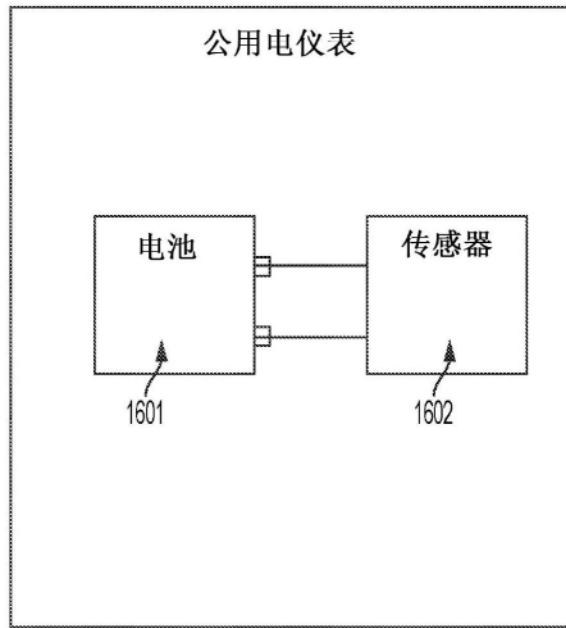


图16

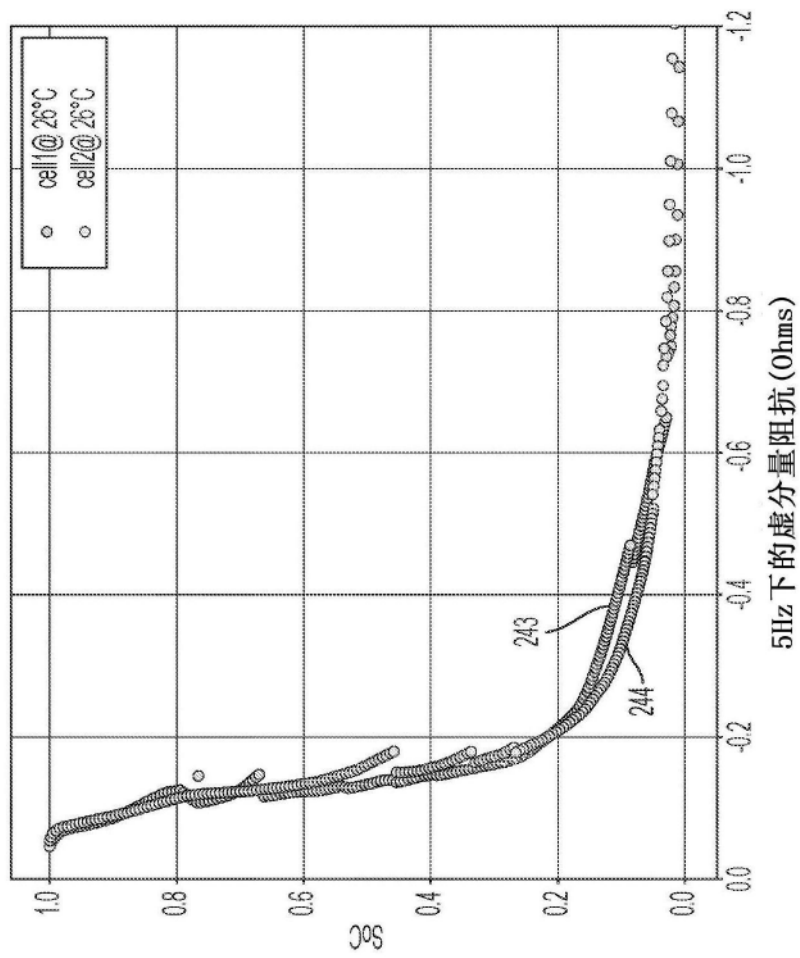


图17

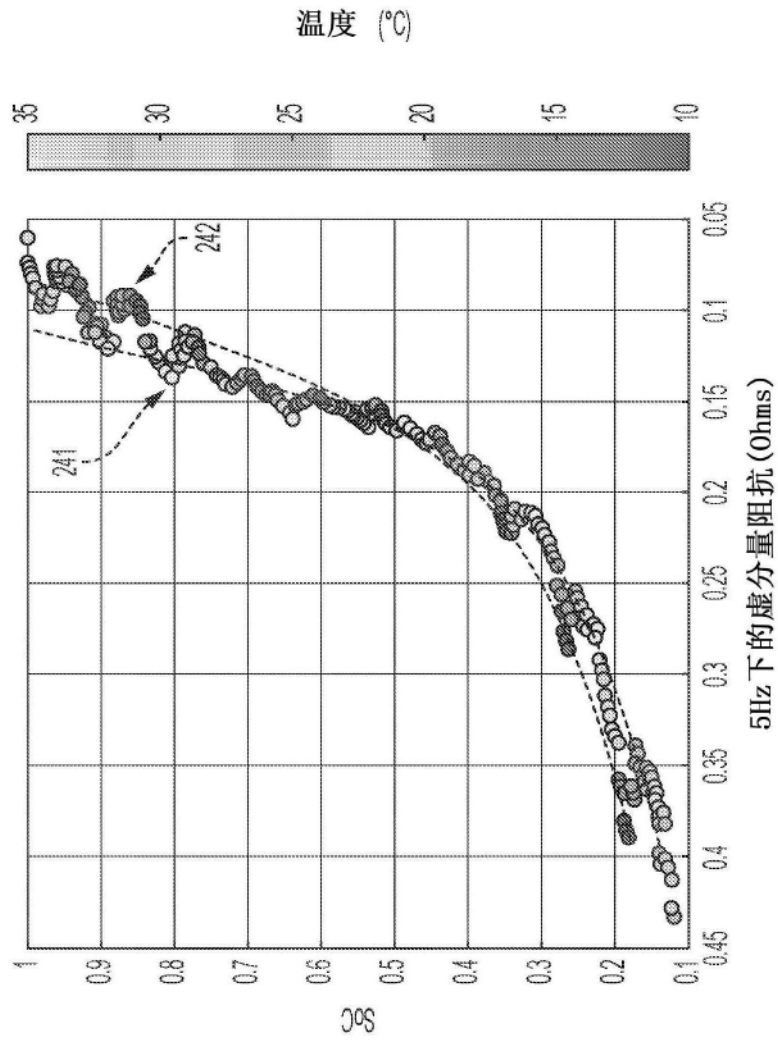


图18



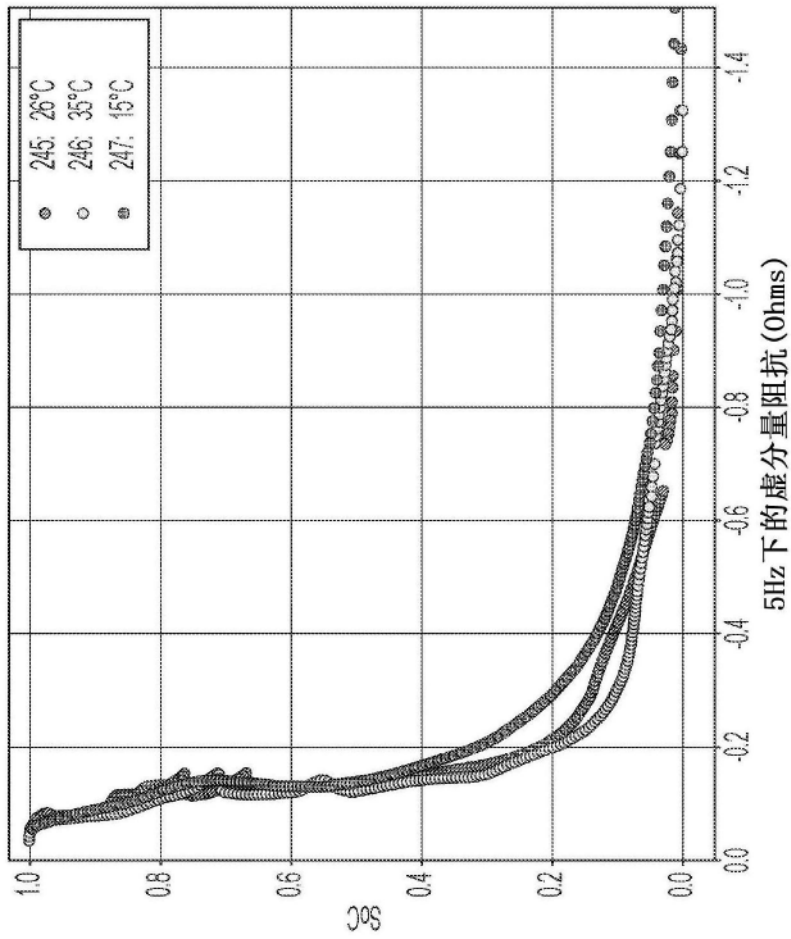


图19