



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104380558 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 25

(21) 申请号 201380030484. 8

(22) 申请日 2013. 04. 12

(30) 优先权数据

2012901435 2012. 04. 12 AU

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 12. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/AU2013/000375 2013. 04. 12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/152397 EN 2013. 10. 17

(71) 申请人 东宾夕法尼亚制造公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 约翰·伍德 布里安·麦基翁

(74) 专利代理机构 上海翰鸿律师事务所 31246

代理人 李佳铭

(51) Int. Cl.

H02J 3/28(2006. 01)

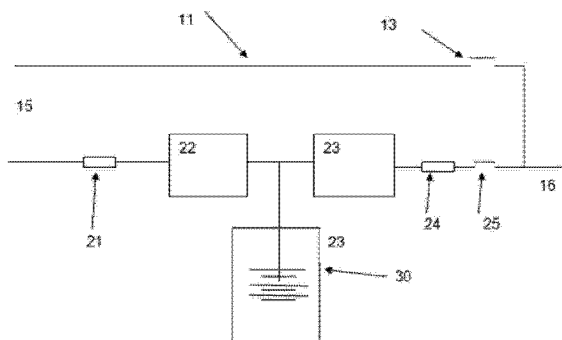
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

蓄电池容量管理

(57) 摘要

公开了一种蓄电池组电池系统, 向电网提供调节服务及用作不间断电源 (UPS) 的部分的蓄电池。若需要时, 当维持蓄电池容量的储备来提供UPS 供应时, 储能蓄电池的容量的部分可用作调节服务。本发明的优点在于蓄电池的安装可更有效地监测, 因为蓄电池更规律地充放电。



1. 一种从备用蓄电池系统向与电网连接的设施提供可选电网调制的方法,系统包括一个或多个蓄电池,一用于从交流电至直流电以从电网给蓄电池充电并供应设施负载的转换器,及一用于从直流电至交流电以供应设施负载的逆变器,其中交流电输入功率可被调制以支持电网调节功能,且其中至少部分蓄电池指定为作为备用供应使用以及用于连接电网的功率调制,这种蓄电池的容量的第一部分指定为用作备用供应,且这种蓄电池的容量的第二部分指定为用作可选地通过外部供应充电,或通过外部供应放电。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中容量的 50% -70% 用作所述第一部分。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中容量的 15% -30% 间既不用作第一部分也不用作第二部分,从而优化所述蓄电池的寿命。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中第二部分用作提供调节服务,且其中提供有一控制器,控制所述第二部分响应于供应电网的自动配套服务信息的放电和充电。

5. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述控制器进一步适用于监测并报告所述储能蓄电池的状况和健康状态。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中电网用于连续地向蓄电池充电直至所述容量的第一部分,且所述第一部分持续放电至一逆变器,从而向设施负载提供正常的操作功率。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中第二部分可获得的峰值功率小于峰值设施负载,从而总整流器功率总是变现为自电网连接而来的负载,允许参与至负载管理方案。

8. 如权利要求 7 所述的方法,其中当相比于双向交流至直流转换器的成本,功率流向的单向方向允许交流至直流整流器阶段通过低成本功率电子设备来实施。

9. 如权利要求 1 所述的方法,其中峰值频率调节功率加上设施负载选择为小于或等于峰值蓄电池再充电功率加上设施负载,从而频率调节服务和停电后的蓄电池再充电需求是唯一的,允许连接功率需求最小化。

10. 如权利要求 1 所述的方法,其中蓄电池被分隔为不同技术的两部分,一部分限定用于频繁功率循环以支持电网调节服务,而另一部分限定用于偶尔的高放电以支持设施 UPS 功能,且该蓄电池具有高速电子开关,基于期望的功能,选择哪部分连接至交流至直流转换器。

11. 一种在储能电池中,自动估算系统充电状态的的方法,其中对于每一电池串,执行以下步骤:

接收输入串电流和串电压值;

使用理想电池阻抗和串电流确定补偿电压,并因此确定内部电池电压的估算;

压缩电压范围并将输出穿过一低通滤波器来提供基于充电状态估算的电压;

同时,积分电流值以提供充电计数;

将充电计数压缩到电池容量,并将该结果穿过一高通滤波器从而提供基于充电状态估算的电流;及

结合并将基于充电状态估算的电流和基于充电状态估算的电压平均,来提供充电状态的估算。

蓄电池容量管理

技术领域

[0001] 本发明涉及一种可提供功率平滑和功率调节服务的备用蓄电池容量的使用。

背景技术

[0002] 在现代系统中,市电电力的供应是由发电机和输配电的复杂相互作用提供的。在需求方,客户的同样复杂的组合需要不同级别以不协调的方式的供应。这一切均实时在发生。尽管发电机约定为整天中的某些时段供应一定级别的产量,且该产量被以十分钟为时间跨度带上线和下线的供应作补充,需求的易变性意味着供应和负载从未完全匹配。当负载低于发电时,导致了发动机速度(频率)的提高,当负载超过发电输出时,导致了速度(频率)的降低。

[0003] 调节服务通过协助匹配发电输出与需求,及维持期望的频率来纠正电力需求的短期变化。当需求超过容量时,这些服务可以是向上调节来提供额外功率,或是当发电的容量超过需求时,向下调节。

[0004] 一种提供调节服务的方法是在一设置点附近改变矿物燃料发电机,特别是燃气涡轮机的输出,因为燃气涡轮机相比于燃煤电厂响应更快。另一种调整服务的来源是抽水蓄能,其发电的输出关于基点、设置点和值是变化的。其他已知的系统包括压缩空气和飞轮(flywheel)。

[0005] 另一种提供调节服务的方法是使用大型储能蓄电池。在过剩电力供应的时刻间,蓄电池充电。当调节需要额外输出时,使用一功率转化器从直流电储能输出产生交流电。这个方法可相对快速和高可靠性地完成。虽然存在有高效的系统来完成上述方法,仍然具有与蓄电池系统、控制电子设备、和作为蓄电池基础系统的功率电子设备相关联的相对大的投资成本。

[0006] 本发明的目的在于以更高效的方式提供调节服务。

发明内容

[0007] 第一宽泛的形式中,调节服务由使用一储能蓄电池系统的部分容量来提供,该储能蓄电池系统为不间断电源(UPS)或相似系统的备用供应的一部分。若需要的话,当维持蓄电池储备容量来提供备用供应时,储能电池组系统的部分容量可用作调节服务。

[0008] 根据一方面,本发明提供一种从与电网连接的备用蓄电池系统中,提供可选择的电力供应和存储的方法,该系统包括一个或多个储能蓄电池,一从交流电转化至直流电,用于给蓄电池充电的转化器,及一从直流电转化至交流电,用于将从蓄电池放电的电流转化至交流电的逆变器,其中交流电可选择地供应,用于作为备用供应使用或用于回馈至电网的外部供应,且其中至少部分蓄电池被分配用于作为备用供应使用以及用于回馈至电网的供应。这种蓄电池的第一部分容量被指定为用作备用供应,而这种蓄电池的第二部分容量被指定为用作可选择的从外部供应充电或是放电至外部供应。

[0009] 本发明实施方式的一个特别的优点在于蓄电池硬件定期充放电,从而可监测其性

能和运行状况,而传统的 UPS 间歇性地运行,蓄电池的状况在蓄电池被查看前是未知的。

[0010] 本发明的另一重要的优点在于允许 UPS 持有者或操作者从储能蓄电池和相关联的电子设备和相关构造的资本投资中派生出额外的收入流。虽然需要额外的蓄电池容量,这通过向电网提供调节服务获得的收入抵消。

附图说明

[0011] 本发明描述的示例性实施将参照附图描述,其中:

图 1 为典型的线上 UPS 电路图;

图 2 为理想蓄电池组系统中充电状态和功率相对于时间的示意图;

图 3 为阐明本发明一实施例的流程图;

图 4 为示出本发明一示例性实施例的框图,及

图 5 为示出本发明充电状态确定的过程的流程图。

具体实施方式

[0012] 本发明将主要参照铅酸电池组的实施例作描述,更具体地,为铅酸超级电池(UltraBattery)的实施例。然而,本发明的原理可应用至其他化学储能系统,例如锂聚合物、锂离子、钠硫化物、镍镉或任何其他此类化学系统。该原理也可应用在其他储能技术,例如超电容(Supercapacitor)和超级电容(ultracapacitor)。他也可应用在储能技术的这些类型的任意结合上。当蓄电池这一短语使用在本说明书和权利要求中时,除非本文另有指明,其旨在囊括蓄电池和储能系统的这些类型。

[0013] 可以理解的是,本文提供的示例旨在作为本发明的示例性实施例,应当不能理解为对本发明范围的限制。对于本领域技术人员显而易见的是,许多可选的实施例也是可能的。

[0014] 图 1 示出了现有技术中典型的线上 UPS 系统,该系统也可应用本发明。这样的 UPS 从供应处获取输入,将输入传递通过一输入滤波器,并将交流电整流为直流电。这用于给蓄电池充电,并也供应一直流电至交流电逆变器至数据中心或类似的设施。当引入的交流电供应丢失,蓄电池通过直流电至交流电逆变器输出供应至设施。

[0015] 继续参阅图 1,更具体的是,该线上 UPS 包括从市电电力供应而来的输入线 15。可以理解的是,该供应的额定值应当足以满足此处讨论的设施,通常为以三相功率传输的专用变电站。在主要路径上,穿过保险丝 21 后,引入的交流电由整流器/充电器 22 整流。整流后输入给蓄电池 30 充电。该整流后的输出也输入至逆变器 23。这产生了交流电,该交流电通过保险丝 24 和开关 24 输出至输出 16,且随后给设施供电。在这样的设置下,逆变器和整流器一直开启。当 UPS 下线维修时,还有一提供功率的维持旁路 11 和关联开关 13。

[0016] 对于本领域技术人员可以理解的是,其他 UPS 配置也是可能的,例如使用多个蓄电池模块、共享冗余系统、待机系统和类似系统。本发明可在合适的实施例中应用上述任意系统。

[0017] 图 1 中示出的这种设置的一个优点在于由设施接收的交流电源已被整流并随后被逆变,从而交流电源是整洁的,避免了假象(artefact)和电流浪涌。进一步地,因为频率和电压是由逆变器控制的,设施总是接收高质量参数内交流电。如果功率供应出现故障,逆变器如之前一样继续工作,但能量是从蓄电池而来。这也为长时间断电的情况下,给例如柴

油或其他本地备用发电机提供时间来带上线。而对于短时间的停机而言,设施内的功率使用者并不会察觉引入交流电的任何损失。

[0018] 这样的备用设施通常涉及通信或数字处理硬件,例如数据中心、通信交换或蜂窝塔,服务器场或类似设施。虽然本发明原则上应用于更小的操作,规模的实际问题认为本发明最适用于具有相对更大蓄电池容量的更大的站点。

[0019] 本发明的主要原理在于蓄电池容量部分使用于为各自的站点提供备用,并部分用于向电网提供调节服务。提供有足够大的蓄电池允许了期望的备用容量,以及提供调节服务的容量。蓄电池通常设置为许多互相连接的电池。可以理解的是,蓄电池可以形成单一单元或装置,或分散布设。

[0020] 图 3 为根据本发明一实施例描述系统通常操作的流程图。步骤 31 中,该进程确定电网电压是否存在。如果电网电压不存在,则步骤 35 中,整流器阶段关闭,进程前进至调整逆变器电压来维持功率。

[0021] 如果电网电压存在,步骤 32 中,进程检查 UPS 或蓄电池内是否有错误。如果有错误,步骤 36 中将触发一告警阶段。如果没有错误,进程前进至步骤 33,调节整流器功率来提供调整功率以及期望的设施功率。接下来,在步骤 34 中,调节逆变器电压来维持期望的设施功率,且进程回到起点。

[0022] 图 2 描绘了根据本发明的充电状态 (SOC) 和理想电池使用的需求功率与时间的关系。左纵轴示出了兆瓦 (MW) 级别的调节功率,右纵轴示出了充电状态的百分比%。可以看到的是,为了向电网提供期望的调节,调节功率频繁地从正到负的波动。充电状态以相反的方向缓慢地改变,并滞后于功率曲线。在该实施例中,充电的基态在 70% 左右。

[0023] 在图中以虚线表示的,蓄电池内存储的能量低于 60% 的级别,出于相关联的设施的备用功率使用而储备。蓄电池的操作提供调节服务因而造成充电状态上下移动,但储备 60% 的容量用作备用服务。

[0024] 图中示出了一终点,在该终点丢失了调节信号,因为电网连接丢失。SOC 随后下降并通常在 15 分钟后跌至 0 点,期间蓄电池供应备用功率至设施。

[0025] 根据本发明一实施例的系统中,UPS 备用系统的操作者将提出提供调节服务,譬如, +/-20 兆瓦。调节服务的蓄电池容量是充电或放电来提供调节服务,取决于调节控制信号。放电随着电网系统而变化。举例来说,对 P JM 快速响应调节信号和样品信号的描述可至 <http://pjm.com/markets-and-operations/ancillary-services/mkt-based-regulation.aspx#SliderItem1> 得到。这样的系统形成电网的背景知识的一部分,对于本领域技术人员也很好理解,因此在此不再详述。

[0026] 本发明一通常的实施例中,结合的 UPS 和调节服务容量将具有平均存储能量在电池容量的 70% 的蓄电池。当供应调节需求时,存储能量也可在容量的 60% 到 80% 间浮动。蓄电池存储大小特定这样蓄电池容量的 60% 足够在期望的备用时间内向设施供应功率。

[0027] 可以理解的是,客户可能相对于备用功率需求单独需要额外的储能容量,例如,在一般的需求外额外的 67% 的储能容量。直流 - 交流逆变器的功率电子设备保持高度一致,然而交流 - 直流整流器状态的功率电子设备需要增加的容量来处理 UPS 基本负载加上调峰需求。

[0028] 通常在充满电的状态下操作现有技术的 UPS 系统,准备提供备用功率。然而,站点

持有者在功率撤走前无法知晓电池是否运行最佳。现有技术的系统可每几个月放电来测试,然而,这无法如本发明中连续运行系统组件包括蓄电池般提供高保险。根据本发明的实施例,蓄电池可连续运行在高功率水平,从而可获得运行中的蓄电池的电池运行状况评估的基础。

[0029] 为了在部分充电状态 (SOC) 例如 60% -80% 内操作,有必要计算 SOC。现有技术电池 SOC 的评估通常包括停止对系统充电,等待几小时稳定电压并以此为充电状态的估算。这点之后,充放电的库仑根据电池容量测量来计数、压缩,并用于估算新的 SOC。

[0030] 该技术的问题在于充电是由电流的积分决定的,积分的过程需要高精度的电流测量,而这会导致误差的积累。因此有必要定期回馈一稳定电压测量从而重新校准 SOC。该重新校准需要系统停止充放电,并在该时间内无法提供调节服务。

[0031] 根据本发明的实施例,电池的 SOC 可在系统运行时测量。对于任何电池,电压由内部电池电压的估算而补偿 (offset)。以使用电池为例,其被计算为电池电流乘以标称阻抗,来得到“内部”电池电压的估算。测量的电压随后以 2-24 小时的长时间常数进行滤波,来得到内部电压的估算。电流也被积分从而提供充电测量,并被高通时间常数滤波,其中高通时间常数与我们使用在电池电压上的低通值相等。

[0032] 我们的充电状态估算结合了低通电压 SOC 估算和电流 SOC 估算的高通积分来提供一净 SOC 估算。这个方法的优点在于系统不需要被停止来重新校准 SOC 测量。另一优点在于不再强调电流的长期积分,因为低精确度、低成本、电流测量已经足够了。

[0033] 参阅图 5,串电压 70 和串电流 71 (从如下描述的传感器而来的) 提供输入至充电预估进程的状态。步骤 72 中,串电压由标称电池阻抗乘以串电流的值补偿,随之提供了步骤 72 中内部电池电压的估算。步骤 76 中,对于充电的电压状态按电池电压范围成比例压缩,并穿过低通滤波器 77。

[0034] 与此同时,步骤 73 中,积分电流被处理从而确定充电库仑计数 75。这被压缩到用于充电库仑状态的电池库仑容量,并穿过一高通滤波器 80。步骤 77 和 78 的值在步骤 78 中合计来提供步骤 81 中的充电估算状态。

[0035] 在优选地形式中,SOC 估算允许了 Peukert 效应,其中更高的放电率将经历更高的内部阻抗,因而蓄电池在这样的条件下可供应更少的总功率。实际上,更高比率的消耗电流将减少蓄电池的可用容量。在 SOC 估算中,这种效应应考虑在内,从而更高的放电和充电在安时 (Ahr) 累计计算时比重更高。

[0036] 在更优选的形式中,滤波时间常数不是固定的,但是当电池组负载入时,从 2-24 小时的预定值间选择,当电池组未负载入时,从 0.2-2 小时时间选择。

[0037] 可以理解的是,60% -80% 部分的 SOC 的值只是作为示例提供,本发明原则上可实施于任何适用的期望的部分 SOC 值,该值与蓄电池和电池种类及配置匹配。

[0038] 根据本发明的一系统的实际实施的示例可参阅图 4 描述。该系统包括 160*2 东宾超级电池的电池模块,可包装在两个 ISO 运输容器内。每一栈 32 个电池 40、41、42 包括蓄电池监测模块 (BMM) 43、44、45,位于每一 32 个电池栈 40、41、42 上。出于清楚的目的,仅示出三个电池栈,但在这样的系统中显而易见的是,需要 10 个栈,每一连接有一 BMM。

[0039] 电池栈 40、41、42 也,例如通过固体总线,与功率电子设备 49 具有直流连接 60。该功率电子设备从电网 61 接收交流电,并对其整流用作向电池栈充电,逆变直流电来向设施

提供交流功率,并当需要对网络提供调节服务时,也输出控制交流电(基于 SCP48 而来的指令)。

[0040] 每一电池组监测模块 BMM43、44、45 为具有 32 个不同电压输入(对应每一单独电池)和 8 个温度传感器输入(未示出)的微处理控制电子设备模块。温度输入允许了在 32 个电池模块内监测采样站点。每一电池具有被各自 BMM 单独监测的电压。

[0041] 每一蓄电池监测模块 BMM 包括 CAN 连接总线,提供了回馈至蓄电池串主控制器(SMC)47 的连接 46。这允许了 BMM 组的控制,从而以期望采样率录入电池电压和温度,例如通常为 1/秒。SMC47 通常为工业封装电脑,具有从串电流传感器而来的额外输入(未示出)。这通常可以是日置(Hioki)9709 霍尔效应高精度电流传感器。SMC 将接收不同的电池电压输入和串电流(同一串电池均相同),并使用上述方法计算串 SOC 和单独电池的 SOC。

[0042] 该系统由系统控制处理器(SCP)48 控制。它与 SMC47、功率电子设备 49 通过数据连接 50 通信,并与一远程数据中心 52(或类似的设施)通过外部数据链接 51 通信。

[0043] 为了评价蓄电池串健康状态,可使用以下过程。周期性地,一蓄电池串由 SCP48 关闭,如果有必要的话,蓄电池串可被放电至预定目标 SOC。允许电池组休息一段时间,功率负载通过负载电阻或连接着的直流至交流转换器应用到蓄电池串上。BMM 设置为以一更高的采样率,通常为 1k/秒,并进行一组的采样。例如,可以是一组 100 个采样,先于负载跃阶 50 个后于负载跃阶 50 个。

[0044] 这些采样随后被绘制出,使用了常规的曲线和直线拟合过程来定义从每个电池看出的电压跃阶幅度。观察到的电压跃阶直接与电池阻抗相关联,且为电池的健康状态(SOH)的测量。该 SOH 测量从录入至远离站点的数据中心 51,且监测电池 SOH 随时间的变化来确定任何指示故障电池的趋势。对于具有更高测量噪声水平的装置而言,供应至 BMM 的功率可在灵敏的 SOH 测量期间分离。每一 BMM 的内部供电电路包括足够的储备来允许 BMM 在这样的分离期间持续操作。

[0045] 当从最大能量储能的 60%启动时,一组 320 个电池意 10 分钟提供 1 兆瓦的 UPS 电源。当在存储能量的 60% -80%间操作时,该 320 个电池也可提供 +/-0.5 兆瓦的调节功率。

[0046] 该 320 节蓄电池与功率电子设备 49 连接,例如功率容量提高 50%的具有功率比电子设备的输入交流 - 直流整流阶段的力博特(Liebert)NXL1100kVA/1100kW UPS 功率电子设备。

[0047] 当交流电网的连接丢失后,SCP48 将停止系统提供频率调节服务,SCP 随后命令功率电子设备 49 开启从电池栈的全负载支持。蓄电池放电 5-10 分钟来支持系统负载是传统的 UPS 操作。作为可选的实施例,交流连接丢失后,功率电子设备 49 将与交流电网断开连接,并忽略 SCP48 的输入,而开始对蓄电池放电以支持负载。

[0048] SCP48 提供对系统的整体控制。它从公共事业管理局,例如,美国东部的 PJM,通过一合适的接口设备接收频率调节信号,在这个情况下,合适的接口设备为安全网-RT 接口模块。可以理解的是合适的接口将依赖于对系统位置适合的频率调节信号系统。

[0049] 该系统控制器随后通过一 Modbus 接口控制力博特 NXL 来调制整流器功率电平,以满足 PJM 调节需求及通过直流 - 交流转化器的设施负载。Ecoulit 的系统控制器也可从 SMC 监测蓄电池状况、电压、温度、SOC,且如蓄果电池状况超过边界条件,禁用频率调节功能。Ecoulit 的系统控制器进一步录入不同的 UPS 和蓄电池状况,并从 UPS 设备远程传输数据至

数据中心。

[0050] 进一步可以理解的是,当本发明相对于 UPS、整流器和逆变器阶段的特定硬件的实施例进行描述时,许多不同的可选方案也是可能的。

[0051] 例如,不同于包括有整流器阶段、电池和直流-交流逆变器阶段的 UPS 技术,也可提供对于电网的单独的直流至交流输出阶段的调节。然而,这并非是优选的,因为功率整流技术通常成本显著低于逆变器技术。

[0052] 本发明的另一优点在于通常相比于 SOC 预留用作该目的的部分有更多的备用容量。因为在断电的情况下,网络不起作用,不需要调节服务。任何存储的功率因此可用作备用目的。换言之,本发明的实施例中可获得的最小的备用功率是储备的备用容量——几乎在所有的情况下,这将大于储备的备用容量。

[0053] 本发明也可单纯作为需求响应负载而实施。也就是说,系统仅操作为下调设施,不向电网回馈提供功率。

[0054] 也可使用分割至两部分——一部分为标准备用供应及另一部分为结合备用和调节设备的数据中心的 UPS 实施到本发明。结合备用和调节设备的一部分优选地可基于超级电池。这允许了超级蓄电池的分割来提供调节和 UPS 功能的混合,其针对成本/利润优化而不受数据中心最小和最大功率电平约束。数据中心需求的变化将由标准 UPS 区段管理。例如,一 1.5 兆瓦的数据中心可能应用有 1 兆瓦的超级电池 UPS 和 0.5 兆瓦的标准 UPS。该 1 兆瓦的超级电池 UPS 也可提供 1 兆瓦的调节、最大限度提高调节收入,并也可基于调节信号停留在 0-2 兆瓦间。如果在一天中数据中心基本负载从 1.5 兆瓦跌至 1.1 兆瓦,从常规 0.5 兆瓦 UPS 的输出也将减少至 0.1 兆瓦,从而超级电池区段可继续提供 1 兆瓦的调节服务。

[0055] 用作本发明之目的的超级电池在例如:“应用在混合式电动车辆的超级电池的发展”,L. T. Lam, R. Louey, 能源杂志 (Journal of Power Sources), 2006 年 8 月 25 日,第 2 期卷 158,第 1140-1148 页。他们也可从东宾有限公司购得。

[0056] 虽然本发明参照特定站点的备用系统进行了描述,系统也可能应用到多个站点。同样地,参考的蓄电池容量不需要位于共同的站点,甚至不需要地理上接近。使用虚拟实体,作为负载和发电机的聚合或其部分通过电网受控是已知的。相似地,本发明可以是具有或许不同类型的储能设施集合的虚拟运营商,这些储能设施共同受控来提供调节服务。这样的虚拟服务可以是发电、上述受控的电池存储、和其他负载和/或发电组件的混合,共同操作以向电网提供服务、优化效率并回馈至虚拟操作者。

[0057] 特别有益的虚拟实施例可使用分布式发电,再加上上述的储能,可提供有效的调节,特别是当分布式发电是风电、太阳能光伏发电或其他间歇性发电源的时候。

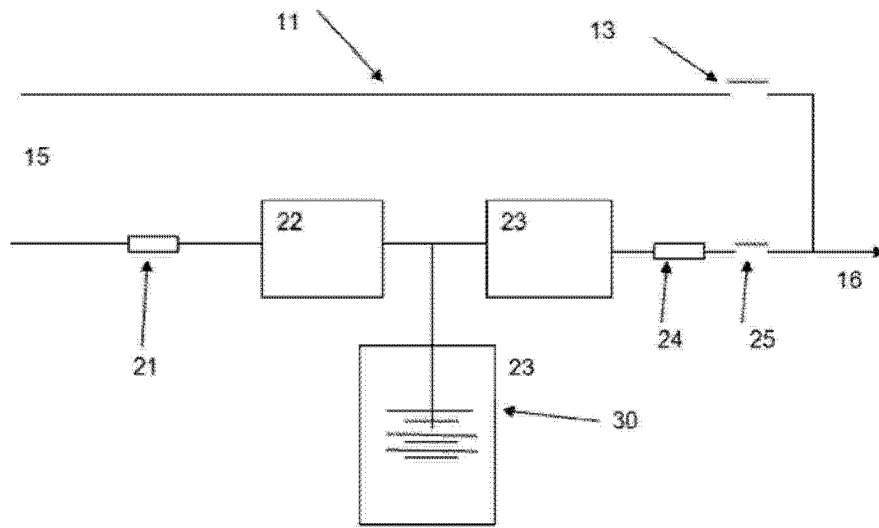


图 1

需求功率和充电状态 (SOC)

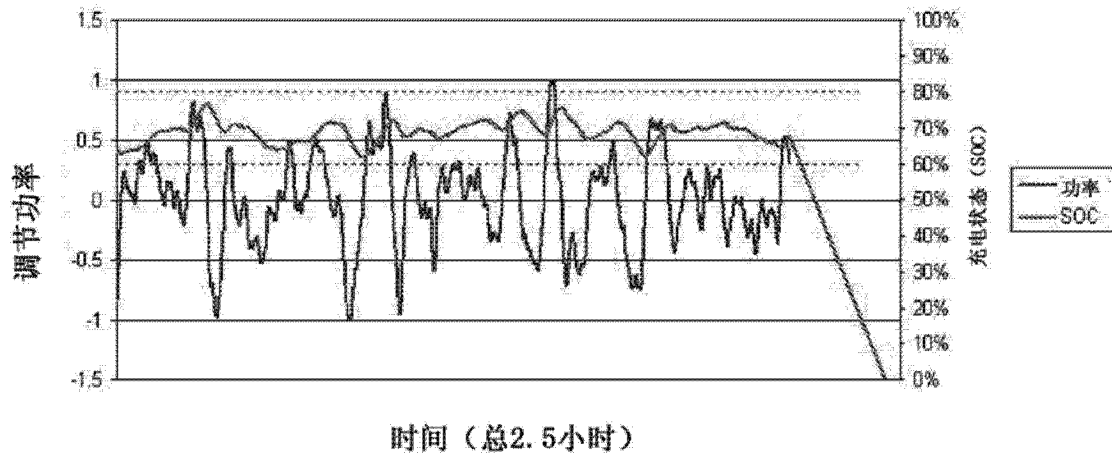


图 2

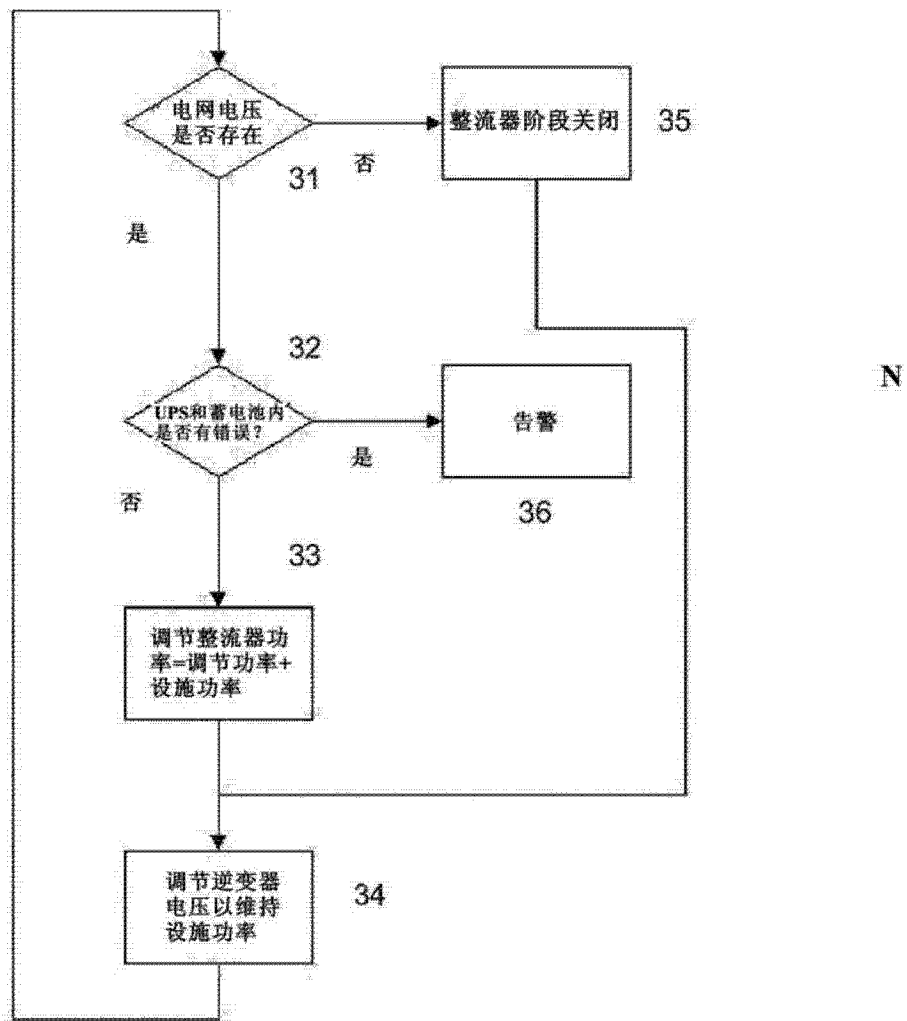


图 3

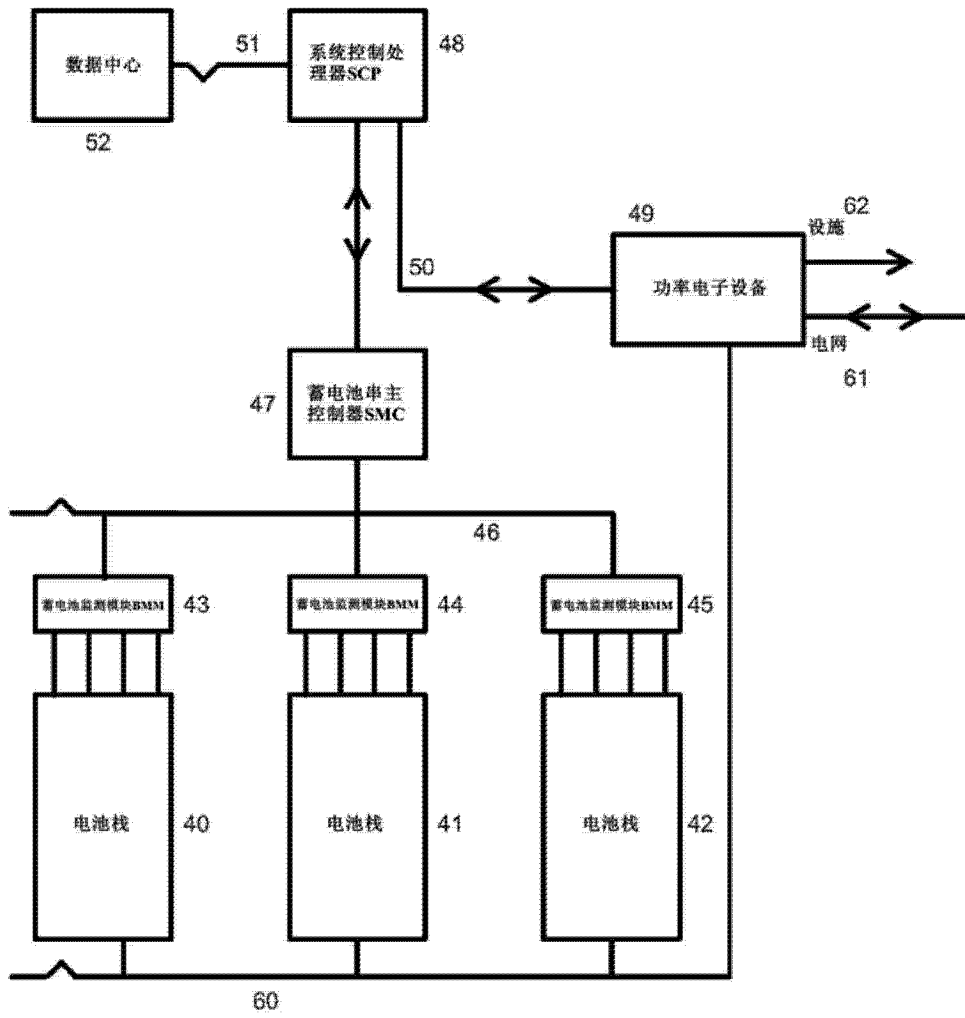


图 4

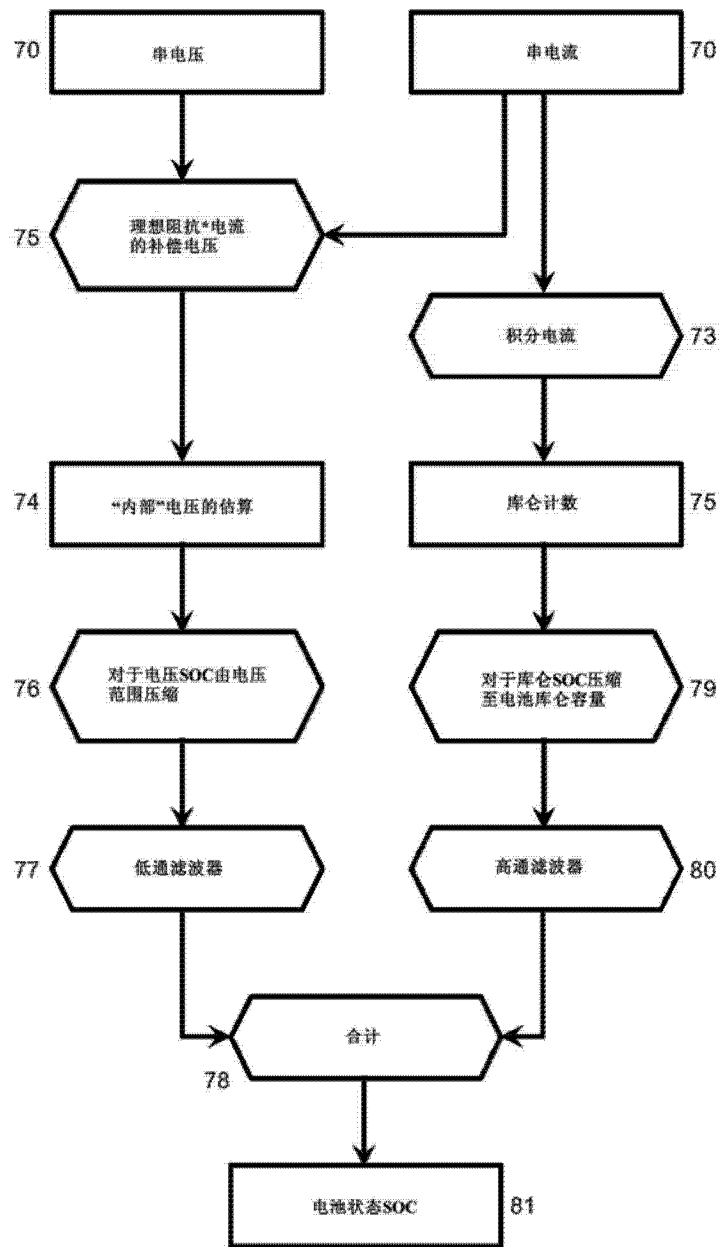


图 5