



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102574710 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201080045139. 8

(22) 申请日 2010. 07. 20

(30) 优先权数据

12/570, 227 2009. 09. 30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 03. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/042505 2010. 07. 20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/041013 EN 2011. 04. 07

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·牛 杨海 J·H·巴伯 M·胡

熊日华 蔡巍 X·高 Y·刘

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
72001

代理人 张金金 朱海煜

(51) Int. Cl.

C02F 1/469 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 01/89656 A1, 2001. 11. 29,

WO 01/89656 A1, 2001. 11. 29,

CN 101331088 A, 2008. 12. 24,

CN 101468836 A, 2009. 07. 01,

CN 101481159 A, 2009. 07. 15,

EP 1348670 A1, 2003. 10. 01,

RU 2245848 C2, 2005. 02. 10,

US 2002167782 A1, 2002. 11. 14,

US 3354068 A, 1967. 11. 21,

审查员 许国宽

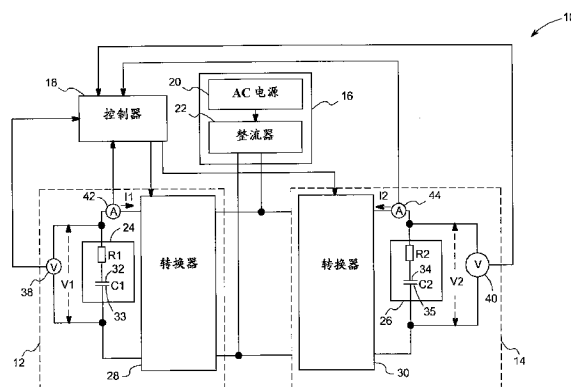
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

电化学脱盐系统和方法

(57) 摘要

电化学脱盐系统 (10) 包括第一和第二电化学装置 (12, 14) 以及控制器 (18)。该第一和第二电化学装置 (12, 14) 每个包括电化学脱盐模块, 其包括至少一对电极 (32, 33, 34, 35), 以及每对电极 (32, 33, 34, 35) 之间的隔间, 用于收容电解质溶液。该第一和第二电化学脱盐装置的每个包括多个连续操作循环。每个循环包括: 充电操作模式, 用于对每对电极 (32, 33, 34, 35) 充电并且用于使电解质溶液中的离子吸附在电极上; 和放电操作模式, 用于使该电极对 (32, 33, 34, 35) 放电并且用于使离子从该电极对 (32, 33, 34, 35) 解吸。第一和第二电化学脱盐装置中的一个处于放电模式并且至少一对电极释放电流, 而第一和第二电化学脱盐装置中的另一个处于充电操作模式并且接收从第一和第二电化学脱盐装置中的所述一个释放的电流。



1. 一种电化学脱盐系统,包括:

第一和第二电化学装置,其每个包括电化学脱盐模块,所述电化学脱盐模块包括至少一对电极,和每对电极之间的用于收容电解质溶液的隔间,所述第一和第二电化学脱盐装置的每个包括多个连续操作循环,每个循环包括:充电操作模式,用于对每对电极充电并且用于使所述电解质溶液中的离子吸附在所述电极上;和放电操作模式,用于使电极对放电并且用于使离子从电极对解吸;以及

控制器,其配置成控制所述系统使得所述第一和第二电化学脱盐装置具有交错的充电和放电操作模式,其中所述第一和第二电化学脱盐装置中的一个处于放电模式并且该至少一对电极释放电流,而所述第一和第二电化学脱盐装置中的另一个处于充电操作模式并且接收从所述第一和第二电化学脱盐装置中的所述一个释放的电流,

其中,所述控制器配置成:控制所述系统使得所述第一和第二电化学脱盐装置中的每个的所述充电操作模式包括正常放电操作模式和强制放电操作模式,

其中,所述控制器还配置成:基于先前的操作循环或基于数个先前的操作循环的平均来计算和确定正常放电电流、正常放电时间、强制放电电流、以及强制放电时间。

2. 如权利要求1所述的系统,其中所述控制器配置成控制所述系统使得所述第一和第二电化学脱盐装置中的每个具有相等的循环时间。

3. 如权利要求1所述的系统,其中所述控制器配置成控制所述系统使得对于所述第一和第二电化学脱盐装置中的每个,所述充电操作模式的充电时间等于所述放电操作模式的放电时间。

4. 如权利要求1所述的系统,其中所述第一和第二电化学脱盐装置包括至少一个双向转换器,其电连接在所述电化学脱盐模块与电力供应之间。

5. 如权利要求4所述的系统,其中所述双向转换器的每个包括双向DC/DC转换器,用于在所述充电操作模式期间传送直流电到所述第一和第二电化学脱盐装置中的一个的电化学脱盐模块,并且传送直流电到所述第一和第二电化学脱盐装置中的另一个。

6. 如权利要求1所述的系统,其包括至少两个串行连接的第一电化学脱盐装置以及至少两个串行连接的第二电化学脱盐装置,其分别用于连续去除离子。

7. 如权利要求6所述的系统,其中所述控制器配置成控制该至少两个第一电化学脱盐装置中的一个以具有与所述至少两个第二电化学脱盐装置中的至少一个交错的充电和放电操作模式。

8. 一种电化学脱盐方法,包括:

采用充电操作模式操作第一电化学脱盐装置,其包括:

使所述第一电化学脱盐装置的至少一对电极极性相反地充电;

使电解质溶液经过所述第一电化学脱盐装置的每对电极之间的隔间;

使所述电解质溶液中的离子吸附在所述至少一对电极上;并且

使稀释溶液从所述第一电化学脱盐装置退出;以及

采用放电操作模式操作所述第一电化学脱盐装置,其包括:

使存储在所述第一电化学脱盐装置的所述至少一对电极中的电能释放到第二电化学脱盐装置,并且使用由所述第一电化学脱盐装置的所述至少一对电极释放的电能对所述第二电化学脱盐装置的至少一对电极充电;以及

使积累在所述第一电化学脱盐装置的所述至少一对电极上的离子解吸而进入所述隔间中的所述电解质溶液中，

其中所述放电操作模式包括对于正常放电时间的正常放电操作模式以及在所述正常放电时间期间释放由存储在所述第一电化学脱盐装置中的所述至少一对电极中的电能驱动的直流电，

其中所述放电操作模式进一步包括通过以反转极性传送直流电到所述第一电化学脱盐装置的所述至少一对电极来进行的对于强制放电时间的强制放电操作模式，

基于先前的操作循环或基于数个先前的操作循环的平均来计算和确定正常放电电流、正常放电时间、强制放电电流、以及强制放电时间。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其中对第一电化学脱盐装置的至少一对电极充电包括接收在所述第二电化学脱盐装置的所述至少一对电极的放电操作模式期间释放的直流电。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其进一步包括获得对于所述第一和第二电化学脱盐装置的充电 / 放电电流轮廓，以及控制转换器以输出电流以用于分别根据所述充电 / 放电轮廓对电极对充电 / 使电极对放电。

11. 如权利要求 8 所述的方法，其中所述正常放电操作模式包括比较从所述第一电化学脱盐装置的电极对释放的瞬时放电能量是否满足用于对所述第二电化学脱盐装置的电极对充电的瞬时能量需求。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其中比较包括将所述第一电化学脱盐装置的瞬时放电功率与所述第二电化学脱盐装置的瞬时充电功率比较。

13. 如权利要求 8 所述的方法，其中以一定时间间隔重复所述正常放电时间和强制放电时间的所述计算和确定。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其中确定所述正常充电时间和强制放电时间使得从所述第一电化学脱盐装置输出的能量和输入到所述第一电化学脱盐装置的能量之间的差被最大化。

15. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器配置成：根据对所述电极对充电所需要的电荷，计算并且存储对于所述第一和第二电化学脱盐装置的充电电流轮廓和充电时间。

16. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器配置成：在所述正常放电操作模式，比较从所述第一电化学脱盐装置的电极对释放的瞬时放电能量是否满足用于对所述第二电化学脱盐装置的电极对充电的瞬时能量需求。

17. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器配置成：确定所述正常放电时间和强制放电时间，使得在所述放电时间期间释放的能量和能量输入之间的差被最大化。

18. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器配置成：以一定时间间隔重复所述计算和确定所述正常放电时间和强制放电时间。

19. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述控制器配置成：控制所述系统使得在所述强制放电操作模式末端，跨所述放电模式中的所述电化学脱盐装置的至少一个电极对的电压大致上等于零，并且跨所述放电模式中的所述电化学脱盐装置的电压低于 0。

## 电化学脱盐系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及脱盐技术领域,并且更具体地涉及电化学脱盐系统和控制该系统的方法。

### 背景技术

[0002] 一个类型的电化学脱盐系统在电解质溶液中利用至少一对电极。该电化学脱盐系统包括多个连续操作循环,并且每个操作循环包括充电操作模式和放电操作模式。在电化学脱盐系统的充电操作模式中,由外部电力供应对电极对相反地充电以在电极对之间形成电场。电解质溶液中的离子由电场朝带相反电荷的电极驱动并且吸附在电极的表面上。因此,电极对形成电容器,其在充电操作模式期间存储电能。在充电操作模式期间,电解质溶液中离子的浓度随时间降低,并且因此从电化学脱盐系统退出的电解质溶液是与馈送进入电化学脱盐系统的电解质溶液相比具有减少的离子的稀释水。在放电操作模式期间,释放存储在电容器(电极)中的电能,并且离子从电极对的表面解吸而进入电解质溶液。因此,在放电操作模式期间从电化学脱盐系统退出的电解质溶液是与馈送溶液相比具有更高的离子浓度的浓缩水。这样的电化学脱盐装置也称为“超级电容器脱盐系统(SCD)”。

[0003] 在放电操作模式期间使电极对放电的常规的方法包括:在电极对之间形成短路,或使电极对与公用设施(utility)连接来消耗由电极对释放的电能,或使电极对的极性反转来释放存储在电极对中的电能。在SCD系统自身中,这些常规的方法中没有有一个直接使用在放电操作模式期间释放的电能。因此,具有不同于那些系统或当前可用的系统的SCD系统并且直接使用在放电过程期间释放的电能可以是可取的。具有用于控制不同于当前可用的系统的SCD系统的操作的方法也可以是可取的。

### 发明内容

[0004] 根据一个实施例,提供电化学系统。电化学脱盐系统包括第一和第二电化学装置以及控制器。该第一和第二电化学装置每个包括电化学脱盐模块,其包括至少一对电极以及每对电极之间的用于收容电解质溶液的隔间。该第一和第二电化学脱盐装置的每个包括多个连续操作循环。每个循环包括:充电操作模式,用于对每对电极充电并且用于使电解质溶液中的离子吸附在电极上;和放电操作模式,用于使该电极对放电并且用于使离子从电极对解吸。控制器配置成控制系统使得第一和第二电化学脱盐装置具有交错的充电和放电操作模式。第一和第二电化学脱盐装置中的一个处于放电模式并且至少一对电极释放电流,而第一和第二电化学脱盐装置中的另一个处于充电操作模式并且接收从第一和第二电化学脱盐装置中的所述一个释放的电流。

[0005] 根据一个实施例,提供电化学脱盐方法。该方法包括采用充电操作模式操作第一电化学脱盐装置。该充电操作模式包括:使该第一电化学脱盐装置的至少一对电极极性相反地充电;使电解质溶液经过该第一电化学脱盐装置的每对电极之间的隔间;使电解质溶液中的离子吸附在至少一对电极上;并且使稀释溶液从该第一电化学脱盐装置退出。电化

学脱盐方法包括采用放电操作模式操作该第一电化学脱盐装置,其包括:使存储在该第一电化学脱盐装置的至少一对电极中的电能释放到第二电化学脱盐装置,并且使用由该第一电化学脱盐装置的至少一对电极释放的电能对该第二电化学脱盐装置的至少一对电极充电;以及使积累在该第一电化学脱盐装置的至少一对电极上的离子解吸而进入隔间中的电解质溶液中。

#### 附图说明

[0006] 当下列详细说明参照附图(其中类似的符号代表整个图中类似的部件)阅读时,本发明的这些和其他特征、方面和优势将变得更好理解,其中:

[0007] 图1是根据本发明的一个实施例的包括第一和第二电化学脱盐装置的电化学脱盐系统的示范性示意图。

[0008] 图2图示对于图1的第一电化学脱盐装置在一个操作循环内的示范性充电和放电电流图。

[0009] 图3图示对于图1的第一电化学脱盐装置在操作循环内的示范性充电和放电电压图。

[0010] 图4图示对于图1的第二电化学脱盐装置在一个操作循环内的示范性充电和放电电流图。

[0011] 图5图示对于图1的第二电化学脱盐装置在操作循环内的示范性充电和放电电压图。

[0012] 图6是第一电化学脱盐装置的放电操作模式期间的方法的示范性过程图。

[0013] 图7和8图示根据本发明的一个实施例的图1的第一电化学脱盐装置分别在充电操作模式和放电操作模式期间的示范性电化学脱盐单元。

[0014] 图9是根据本发明的另一个实施例的电化学脱盐单元的横截面图。

[0015] 图10图示根据本发明的另一个实施例的电化学脱盐系统。

#### 具体实施方式

[0016] 本发明的实施例涉及电化学脱盐系统。该电化学脱盐系统包括第一和第二电化学脱盐装置以及控制器。该第一和第二电化学装置每个包括电极对和该电极对之间的用于收容电解质溶液的隔间。该第一和第二电化学脱盐装置每个包括多个连续操作循环,并且每个循环包括:充电操作模式,用于对该电极对充电并且使电解质溶液中的离子吸附在电极的表面上;和放电操作模式,用于释放存储在该电极对上的电能并且使积累在电极上的离子解吸而进入电解质溶液。控制器配置成控制电化学脱盐系统使得当第一和第二电化学脱盐装置中的一个处于放电操作模式并且电极对释放电能时,第一和第二电化学脱盐装置中的另一个处于充电操作模式并且电极对接收从第一和第二电化学脱盐装置中的所述一个释放的电能。因此,由一个电化学脱盐装置的放电操作模式释放的电能被另一个电化学脱盐装置利用,并且提高电化学脱盐系统的能量效率。电化学脱盐系统的“能量效率”指用于离子去除的能量与由电力供应提供给电化学脱盐系统的总能量的比率。在下文中,电化学脱盐系统也称为“超级电容器脱盐系统”,并且电化学脱盐装置也称为“超级电容器脱盐装置”。

[0017] 如在本文在整个说明书和权利要求书中使用的近似语言可应用于修饰任何定量表示,其可以获准地改变而不引起它与之有关的基本功能中的变化。因此,由例如“大约”等术语或多个术语修饰的值不限于规定的精确值。在一些实例中,该近似语言可对应于用于测量该值的仪器的精确度。

[0018] 除非另外限定,本文使用的技术和科学术语具有和本发明所属的本领域内技术人员通常理解的相同的意思。如本文使用的术语“第一”、“第二”等不表示任何顺序、数量或重要性,而是用于使要素互相区别开。而且,术语“一”不表示数量限制,而是表示存在引用项目中的至少一个。

[0019] “超级电容器”是当与常见电容器相比时具有相对更高的能量密度的电化学电容器。如本文使用的,“超级电容器”包括其他高性能电容器,例如超电容器。电容器是可以将能量存储在紧密隔开的导体(叫作“电极”)对之间的电场中的电装置。当施加电压于电容器时,大小相等但极性相反的电荷在每个电极上建立。

[0020] 参照图 1,例如超级电容器脱盐(SCD)系统 10 等电化学脱盐系统包括第一 SCD 装置 12、第二 SCD 装置 14、至少一个电力供应 16 和控制该第一和第二 SCD 装置 12、14 的操作的控制器 18。

[0021] 在图 1 的图示实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 电耦合于一个共用电力供应 16。在其他实施例中,SCD 系统 10 可包括超出一个电力供应。例如,SCD 系统 10 包括分别耦合于第一和第二 SCD 装置 12、14 的第一和第二电力供应(未示出)。在图示实施例中,电力供应 16 包括提供交流电的 AC 电源 20,和用于将该交流电转换成直流电以施加于第一和第二 SCD 装置 12、14 的整流器 22。在其他实施例中,电力供应 16 可以是 DC 电力供应,其提供直流电或 DC 电压给第一和第二 SCD 装置 12、14 而不使用整流器。在图示实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 可经由例如分流器电耦合于一个共用整流器 22。在其他实施例中,电力供应 16 可包括第一和第二整流器,其能操作于分别耦合于第一和第二 SCD 装置 12、14。

[0022] 在图 1 的图示实施例中,第一 SCD 装置 12 包括至少一个 SCD 模块 24(第一 SCD 模块 24)和该第一 SCD 模块 24 与电力供应 16 之间的第一转换器 28。在某些实施例中,该第一 SCD 模块 24 包括至少一对电极 32、33 以及该电极对 32、33 之间的用于收容电解质溶液(图 7 和 8)的隔间 36(图 7 和 8)。同样,在图示实施例中,第二 SCD 装置 14 包括至少一个 SCD 模块 26(第二 SCD 模块 26)和该第二 SCD 模块 26 与电力供应 16 之间的第二转换器 30,并且该第二 SCD 模块 26 包括至少一对电极 34、35 以及该电极对 34、35 之间的用于收容电解质溶液的隔间 36。在图示实施例中,第一和第二 SCD 单元 24、26 分别包括内电阻 R1 和 R2。在一个实施例中,第一和第二转换器 28、30 每个是双向 DC/DC 转换器。在备选实施例中,第一和第二 SCD 单元 24、26 包括一个共用双向转换器。

[0023] 在图 1 的图示实施例中,第一 SCD 装置 12 包括:第一电压传感器 38,用于测量第一 SCD 单元 24 两端的电压(V1);和第一电流传感器 42,用于测量施加于电极对 32、33 或从电极对 32、33 释放的充电/放电电流(I1)。第二 SCD 装置 14 包括:第二电压传感器 40,用于测量第二 SCD 单元 26 两端的电压(V2);和第二电流传感器 44,用于测量施加于电极对 34、35 或从电极对 34、35 释放的充电/放电电流(I2)。测量的电压(V1, V2)和电流(I1, I2)被传送到控制器 18,并且控制器 18 使用这些信号用于控制第一和第二 SCD 装置 12、14。

[0024] 在某些实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 每个包括多个连续操作循环。每个循环包括:充电操作模式,用于对电极对 32、33(34,35) 充电并且使电解质溶液中的离子吸附在电极对 32、33(34,35) 的表面上;和放电操作模式,用于释放存储在电极对 32、33(34,35) 上的电能并且使积累在电极对 32、33(34,35) 上的离子解吸而进入电解质溶液。

[0025] 在某些实施例中,控制器 18 配置成控制第一和第二 SCD 装置 12、14 使得它们具有交错的充电和放电操作模式。当第一和第二 SCD 装置 12、14 中的一个处于放电操作模式并且电极对 32、33 或 34、35 释放电流时,第一和第二 SCD 装置 12、14 中的另一个处于充电操作模式并且电极对 34、35 或 32、33 接收从第一和第二 SCD 装置 12、14 中的所述一个释放的电流。例如,当第一 SCD 装置 12 处于放电操作模式时,第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 释放电流,而第二 SCD 装置 14 处于充电操作模式并且第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 接收从第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 释放的电流。当第二 SCD 装置 14 转到放电操作模式时,第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 释放电流,而第一 SCD 装置处于充电操作模式并且第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 接收从第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 释放的电流。因此,由一个 SCD 装置的放电操作模式释放的电能由另一个 SCD 装置利用,并且提高 SCD 系统 10 的能量效率。

[0026] 在某些实施例中,根据对电极对 32、33 和 34、35 充电所需要的电荷 (Q),控制器 18 配置成计算并且存储对于第一和第二 SCD 装置 12、14 的充电电流轮廓 (charging current profile) (未示出) 和充电时间 ( $t_1$ )。在一个实施例中,充电电流是恒定 DC 电流。在一个实施例中,操作第一和第二转换器 28、30 以根据充电电流轮廓输出充电电流给第一和第二 SCD 装置 12、14。在图示实施例中,在放电操作模式中由第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 释放的电流被传送通过第一转换器 28 到第二 SCD 装置 14,并且由第二转换器 30 进一步转换成用于对第二 SCD 单元 28 的电极对 34、35 充电的充电 DC 电流。同样,由第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 释放的电流被传送通过第二转换器 30 到第一 SCD 装置 12 并且由第一转换器 28 进一步转换成用于对第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 充电的充电 DC 电流。

[0027] 在一个实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 具有相等的循环时间 (T)。图 2 和 3 分别图示如由第一电流传感器 42 和第一电压传感器 38 在一个操作循环内测量的第一 SCD 单元 24 的示范性充电/放电电流曲线和电压曲线。图 3 中的电压曲线 V1 和  $V_{c1}$  分别代表第一 SCD 单元 24 两端的电压和跨电极对 32、33 的电压。图 4 和 5 分别图示如由第二电流传感器 44 和第二电压传感器 40 在相同的操作循环内并且在与图 2 和 3 相同的时段内测量的关于第二 SCD 装置 14 的第二 SCD 单元 28 的放电/充电电流曲线和电压曲线。图 5 中的电压曲线 V2 和  $V_{c2}$  分别代表第二 SCD 单元 26 两端的电压和跨电极对 34、35 的电压。在图示实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 的操作循环每个具有带有充电时间 ( $t_1$ ) 的充电操作模式和带有放电时间 ( $t_2$ ) 的放电操作模式,即  $T = t_1 + t_2$ 。在一个实施例中,充电时间 ( $t_1$ ) 等于放电时间 ( $t_2$ )。

[0028] 参照图 2 和 3,在充电时间 ( $t_1$ ) 内的充电操作模式期间,能操作第一转换器 28 以提供充电电流 ( $I_1$ ) 给第一 SCD 单元 24。在图示实施例中,在充电时间 ( $t_1$ ) 期间的充电电流 ( $I_1$ ) 是恒定 DC 电流。在其他实施例中,在充电时间 ( $t_1$ ) 期间的充电电流 ( $I_1$ ) 可随时间是变化的。如在图 3 中示出的,在充电时间 ( $t_1$ ) 期间,第一 SCD 单元 24 两端的充电电压 (V1) 和跨电极对 32、33 的电压 ( $V_{c1}$ ) 逐渐增加。在放电时间 ( $t_2$ ) 内的放电操作模式期间,

电极对 32、33 释放放电电流 (I1) 通过第一转换器 28。放电操作模式期间的放电电流 (I1) 与充电操作模式中的充电电流 (I1) 相比处于反向方向。在图 3 的图示实施例中,在放电时间 (t2) 期间,第一 SCD 单元 24 两端的放电电压 (V1) 和跨电极对 32、33 的电压 (Vc1) 减少。

[0029] 在图 2 和 3 的图示实施例中,放电操作模式包括对于正常放电时间 (t3) 的正常放电操作模式。在该正常放电时间 (t3) 期间,电极对 32、33 释放由存储在其中的电能驱动的放电电流 (I1) 通过第一转换器 28,第一 SCD 单元 24 两端的电压 (V1) 和跨电极对 32、33 的电压 (Vc1) 减少。然而,在正常放电操作模式末端,电能因为内电阻两端的电压而未被完全释放,这对于提高 SCD 系统 10 的能量效率是不利的。

[0030] 在图 2 和 3 的图示实施例中,第一和第二 SCD 装置 12、14 的放电操作模式进一步包括对于强制放电时间 (t4) 的强制放电操作模式。在该强制放电操作模式期间,电力供应 16 提供强制放电电流 (I1) 给电极对 32、34,但与充电操作模式中的充电电流 (I1) 相比具有相反的极性。控制器 18 配置成控制系统使得在该强制放电操作模式末端,跨电极对 32、33 的电压 (Vc1) 大致上等于零,第一 SCD 单元 24 两端的电压 (V1) 低于零。因此,存储在第一 SCD 单元 24 中的电荷被完全释放。

[0031] 在某些实施例中,第二 SCD 装置 14 具有与第一 SCD 装置 12 相同的操作循环。当第一 SCD 装置 12 处于充电时间 (t1) 内的充电操作模式时,第二 SCD 装置 14 处于放电操作模式并且释放电流用于对第一 SCD 装置 12 充电。当第一 SCD 装置 12 处于放电时间 (t2) 期间的放电操作模式并且释放电流时,第二 SCD 装置 14 处于充电操作模式并且由第一 SCD 装置 12 和电力供应 16 释放的电流来充电。

[0032] 在某些实施例中,在第一 SCD 装置在充电时间 (t1) 内的充电操作模式期间,能操作第一转换器 28 以根据由控制器 18 操纵的电流轮廓传送充电电流 (I1)。控制器 18 配置成控制系统使得当由第二 SCD 装置 14 释放的正常放电电流 (I2) 能够满足用于产生充电电流 (I1) 的能量需求时,第一转换器 28 只接收正常放电电流 (I2) 用于产生充电电流 (I1) 而不接收来自电力供应 16 的电流。当由第二 SCD 装置 14 释放的正常放电电流 (I2) 不能满足用于产生充电电流 (I1) 的能量需求时,能操作第一转换器 28 以接收由正常放电电流 (I2) 和来自电力供应 16 的电流两者驱动的能量。

[0033] 在某些实施例中,由控制器 18 进行的第一和第二 SCD 装置 12、14 的充电和放电过程是相似的但在时间上交错。由控制器 18 进行的用于使第一 SCD 装置 12 放电的示范性过程 100 在图 6 中图示。图示的过程 100 在步骤 102 开始,其中控制器 18 操作使得第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 开始正常放电操作模式并且释放正常放电电流 (I1) 通过第一转换器 28。正常放电电流 (I1) 的电能被进一步转换成充电电流 (I2) 用于对第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 充电。

[0034] 在某些实施例中,在步骤 104,控制器 18 确定由第一 SCD 装置 12 的电极对 32、33 释放的电能将是否会满足用于对第二 SCD 装置 14 的电极对 34、35 充电的能量需求。在一个实施例中,控制器 18 将从第一 SCD 装置 12 释放的根据  $P1 = V1 \times I1$  的瞬时电功率 (P1) 与由第二 SCD 装置 14 接收的根据  $P2 = V2 \times I2$  的瞬时电功率 (P2) 比较。

[0035] 如果  $P1 \geq P2$ ,确定由第一 SCD 装置 12 释放的电能够满足第二 SCD 装置 14 的能量需求,过程 100 继续步骤 106。

[0036] 在步骤 106,在某些实施例中,控制器 18 计算并且控制第一转换器 28 来传送最大

可能放电电流到第二 SCD 装置 14, 并且然后返回到步骤 104 直到由第一 SCD 装置 12 释放的电能不能满足第二 SCD 装置 14 的能量需求 (即  $P1 < P2$ )。过程 100 继续步骤 108, 并且能操作第二 SCD 装置 14 的第二转换器 30 以接收来自第一 SCD 装置 12 释放的放电电流和来自电力供应 16 的电能两者的电流。

[0037] 在步骤 107, 在某些实施例中, 控制器 18 计算并且确定正常放电电流 ( $I1$ )、正常放电时间 ( $t3$ ) 和强制放电时间 ( $t4$ )。在一个实施例中, 控制器 18 使用第二 SCD 装置 14 的先前的操作循环的充电电流 ( $I2$ ) 和电压 ( $V2$ ) 以及例如内电阻 ( $R1$ ) 和电容 ( $C1$ ) 等其他信息来计算正常放电时间 ( $t3$ ) 和强制放电时间 ( $t4$ )。在其他实施例中, 控制器 18 可使用例如许多循环的电流和电压的平均值。

[0038] 在图示实施例中, 步骤 107 包括控制器 18 计算放电电流 ( $I1$ ) 来最大化来自第一 SCD 装置 12 的能量输出 ( $E1$ ) 的步骤 108。在图示实施例中, 步骤 107 进一步包括控制器 18 配置成假定第一 SCD 装置 12 开始强制放电操作模式而计算强制放电电流 ( $I1$ ) 的步骤 110。在一个实施例中, 强制放电电流 ( $I1$ ) 是恒定 DC 电流。在某些实施例中, 根据强制时间 ( $t4$ ) 计算强制放电电流 ( $I1$ ), 该强制时间 ( $t4$ ) 是总放电时间 ( $t2$ ) 与正常放电时间 ( $t3$ ) 的差。当充电时间 ( $t1$ ) 等于放电电流时间 ( $t2$ ) 时, 强制时间 ( $t4$ ) 是充电时间 ( $t1$ ) 与正常放电时间 ( $t3$ ) 之间的差。在一个实施例中, 控制器 18 配置成计算电极对 32、33 中剩余的电荷 ( $Q$ ), 并且根据  $Q = \int_0^{t4} I_1(t) dt$  计算强制电流。

[0039] 在图示实施例中, 步骤 107 进一步包括控制器 18 计算在强制放电操作模式期间输入到第一 SCD 装置 12 的能量的步骤 112。

[0040] 在图示实施例中, 控制器 18 以确定的时间间隔重复步骤 108、110、112 的计算直到放电时间 ( $t2$ ) 结束。在一个实施例中, 时间间隔是例如 5 秒。

[0041] 在某些实施例中, 在步骤 116, 控制器 18 确定正常放电时间 ( $t3$ ) 和强制放电时间 ( $t4$ ) 使得在放电时间 ( $t2$ ) 期间释放的能量和能量输入之间的差被最大化。

[0042] 在某些实施例中, 在步骤 118, 控制器 18 控制第一 SCD 装置 12 以在确定的正常放电时间 ( $t3$ ) 的末端开始强制放电操作模式, 并且在步骤 120 在确定的强制放电时间 ( $t4$ ) 末端结束。

[0043] 图 7 图示第一和第二 SCD 装置 12、14 在充电操作模式期间的示范性 SCD 模块, 例如第一 SCD 模块 24。图 8 图示在放电操作模式期间的示范性第一 SCD 模块 24。在图示实施例中, 示范性 SCD 模块 24 包括限定体积的脱盐容器 46, 以及容置在该体积中并且电耦合于转换器 28 的该至少一对电极 32、33。

[0044] 在图 7 和 8 的图示实施例中, SCD 模块 24 进一步包括电极对 32、33 之间的电绝缘隔片 48。此外, 脱盐容器 46 包括: 至少一个入口 (未标示), 来自馈送源 52 的馈送电解质溶液 50 从该入口进入隔间 36; 以及至少一个出口 54, 用于使输出液体从隔间 46 退出。可通过使用外力在脱盐容器 46 内部引导电解质溶液。适合的外力可包括重力、抽吸和泵送。

[0045] 在某些实施例中, 第一和第二电极 32、33 的每个包括具有高的表面积 of 的导电材料, 以及在该导电材料内用于电耦合于第一转换器 28 的电流收集器 (未示出)。在本发明的某些实施例中, 电极、电流收集器和绝缘隔片 48 的适合的材料和特性可具有在共同受让的美国 20080185346 中描述和说明的类型, 其公开通过引用结合于此。

[0046] 参照图 7, 在充电操作模式期间, 电极对 32、33 分别作为正电极和负电极由第一转换器 28 充电。使来自馈送源 52 的馈送电解质溶液 50 经过 SCD 模块 24 并且在电极对 32、33 之间。阳离子 ( $M^+$ ) 朝负电极 33 移动并且吸附在负电极 33 上, 并且阴离子 ( $X^-$ ) 朝正电极 32 移动并且吸附在正电极 32 上。由于在 SCD 模块 24 内部的该电荷积累, 输出液体 (其是从 SCD 模块 24 出来的稀释液体 56) 具有与馈送电解质溶液 50 相比更低的阳离子 ( $M^+$ ) 和阴离子 ( $X^-$ ) 浓度。在一个实施例中, 稀释液体 56 可通过被馈送回第一 SCD 装置 12 而再次经历进一步去电离。在另一个实施例中, 稀释液体 56 是用于例如工业使用的输出。

[0047] 参照图 8, 在充电操作模式之后的放电操作模式期间, 被吸附的阳离子和阴离子从电极对 32、33 解吸。在某些实施例中, 在 SCD 模块 24 的放电操作模式期间, 尽管电极对 32、33 的极性可保持相同, 但电极对 32、33 之间的电势差可变得更小, 从而允许阴离子和阳离子从电极对 32、33 解吸。而在其他实施例中, 在 SCD 模块 24 的放电模式期间, 电极对 32、33 的极性可反转。因此, 输出液体 (其叫作浓缩液体 58) 与馈送电解质溶液 50 相比具有更高的阳离子和阴离子浓度。

[0048] 参照图 9, 根据本发明的另一个实施例的 SCD 模块 60 包括容置在脱盐容器 46 中的多个电极对 32、33。这些多个电极对 32、33 并行设置并且由离子障壁 62 互相连接。在图示实施例中, 脱盐容器 46 包括: 多个入口, 用于并行地同时将馈送电解质溶液 50 分别引入对应的隔间 36; 以及多个出口 54, 用于在充电操作模式期间使输出液体 (其是稀释液体 56) 退出并且在放电操作模式使输出液体 (其是浓缩液体 58) 退出。在备选实施例 (其未在图中示出) 中, 入口中的仅一个将馈送电解质溶液 50 引入隔间 36 中的一个, 并且隔间 36 采用一个隔间 36 的入口 54 与串行的另一个入口 36 的入口相通这样的方式互连使得液体流过每个隔间 36。在图示实施例中, 入口 54 中的仅一个是输出液体的退出口。因此, 浓缩液体 58 可以具有更高的离子浓度。在另一个实施例中, SCD 模块 60 可以采用上文描述的并行和串行模式的任何组合方式配置。

[0049] 参照图 10, 根据本发明的另一个实施例的 SCD 系统 64 包括多个串行连接的第一 SCD 装置 12 和多个串行连接的第二 SCD 装置 14, 分别用于连续去除馈送电解质溶液 50 的离子。控制器 18 配置成控制系统使得第一 SCD 装置 12 的每个具有与对应的第二 SCD 装置 14 交错的充电和放电操作模式 (如参考图 1-6 的说明描述的)。因此, 一个 SCD 装置的放电电流由另一个 SCD 装置利用以用于对 SCD 单元充电。在其他实施例中, 第一 SCD 装置 12 中的一个可具有与第二 SCD 装置 14 中的两个或以上交错的充电和放电操作模式。由第一 SCD 装置 12 释放的放电电流被利用以用于对第二 SCD 装置 14 中的两个或以上充电。

[0050] 本文描述的实施例是具有对应于权利要求中所列举的本发明的要素的要素的组成、结构、系统和方法的示例。该书面说明可使本领域内普通技术人员能够制作和使用实施例, 其具有同样对应于权利要求中所列举的本发明的要素的备选要素。本发明的范围从而包括不与权利要求的书面语言不同的组成、结构、系统和方法, 并且进一步包括具有与权利要求的书面语言无实质不同的其他结构、系统和方法。尽管本文只说明和描述某些特征和实施例, 相关领域内普通技术人员可想到许多修改和改动。附上的权利要求涵盖所有这样的修改和改动。

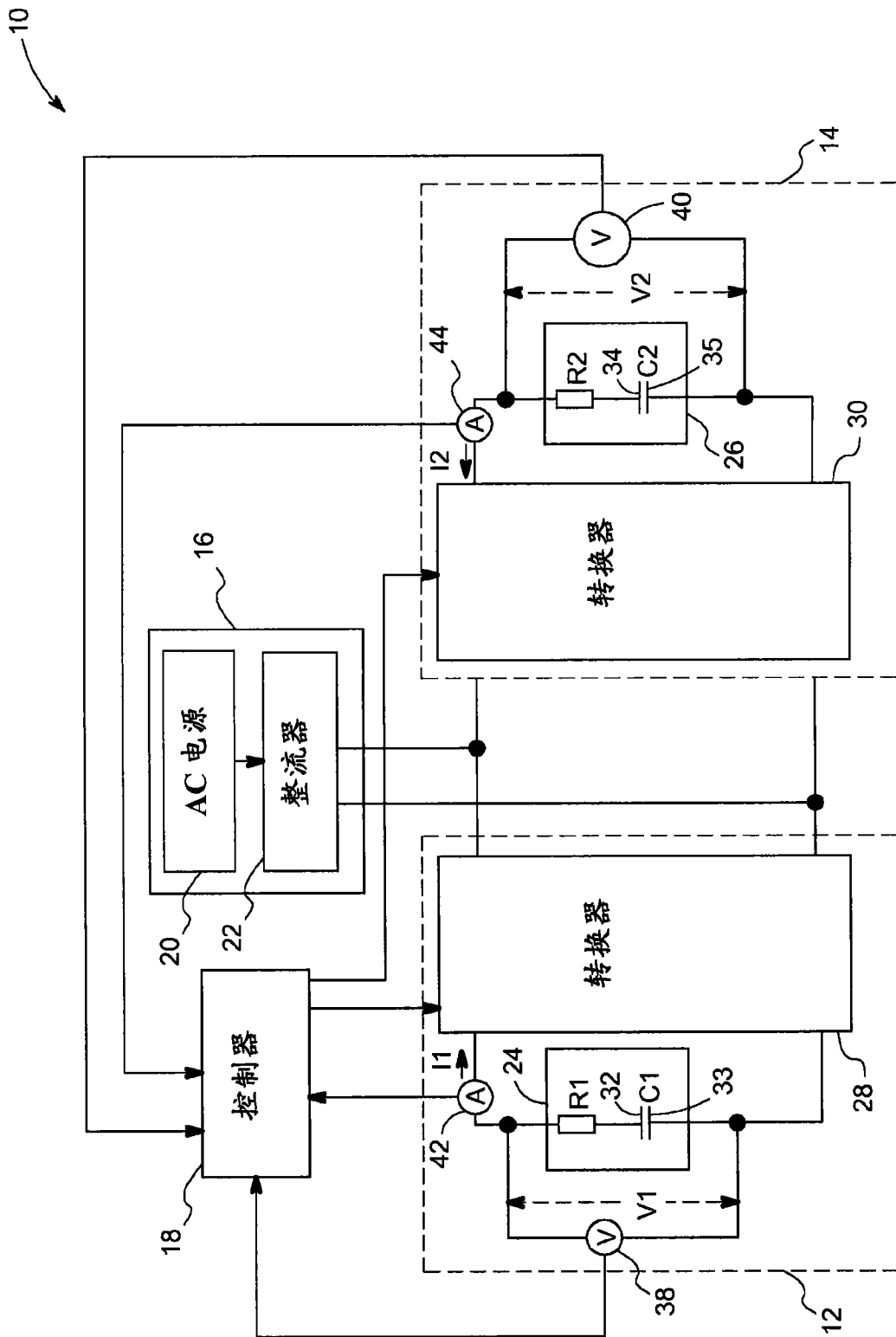


图 1

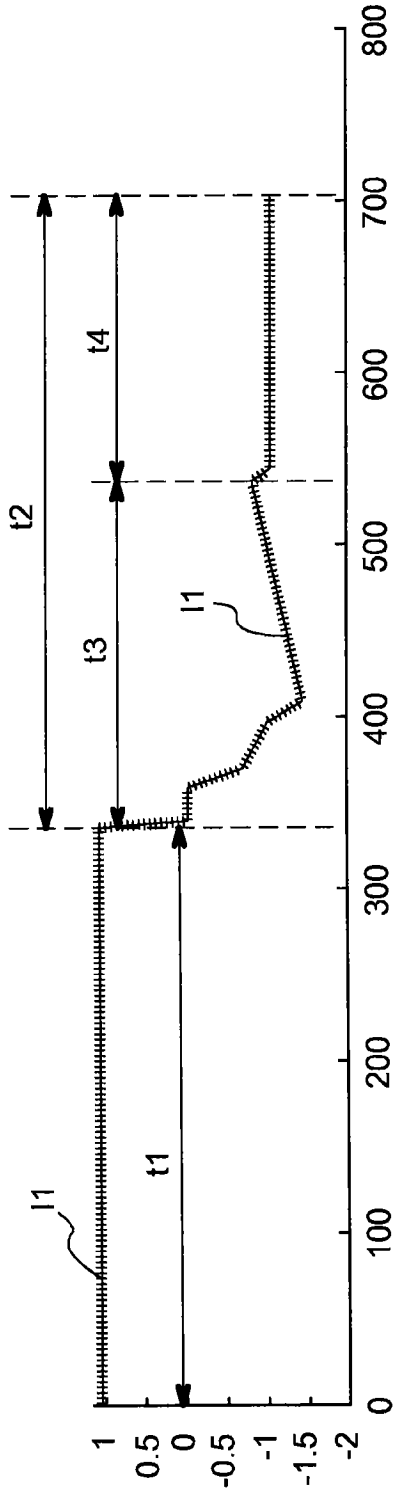


图 2

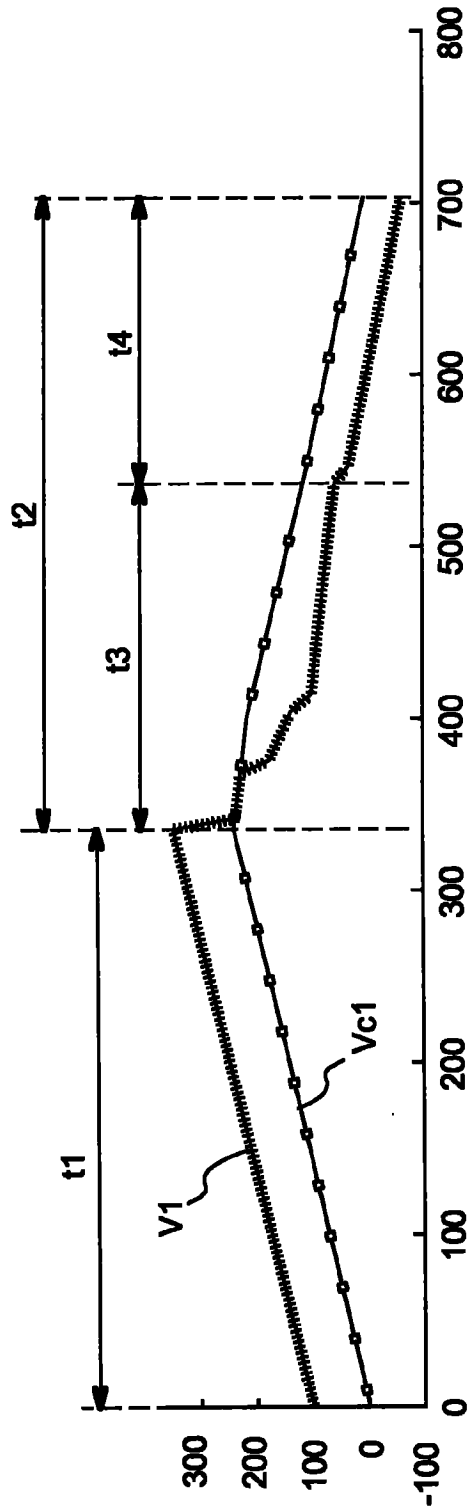


图 3

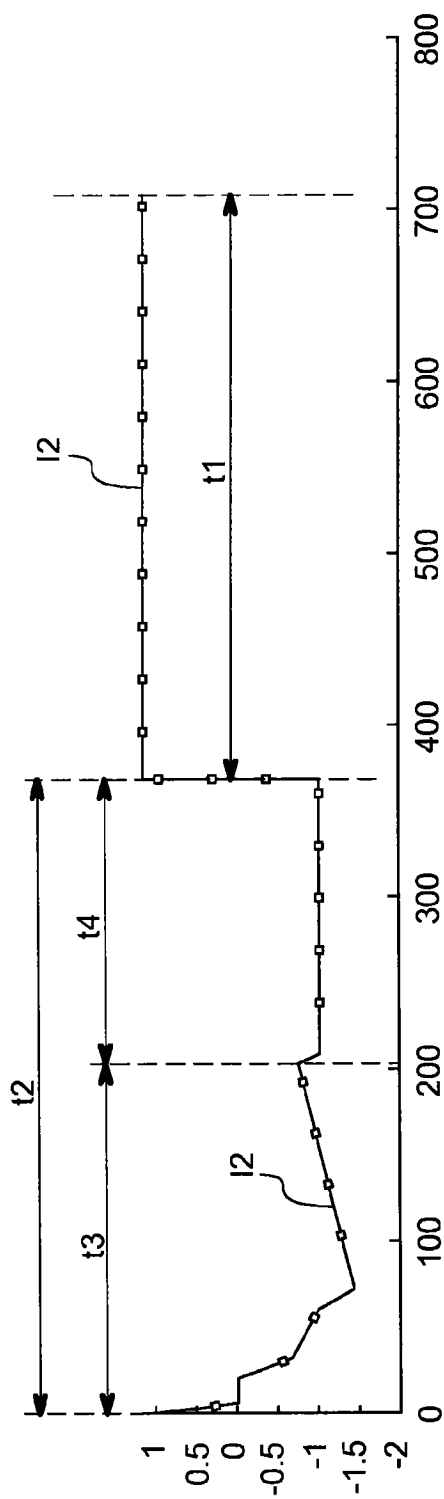


图 4

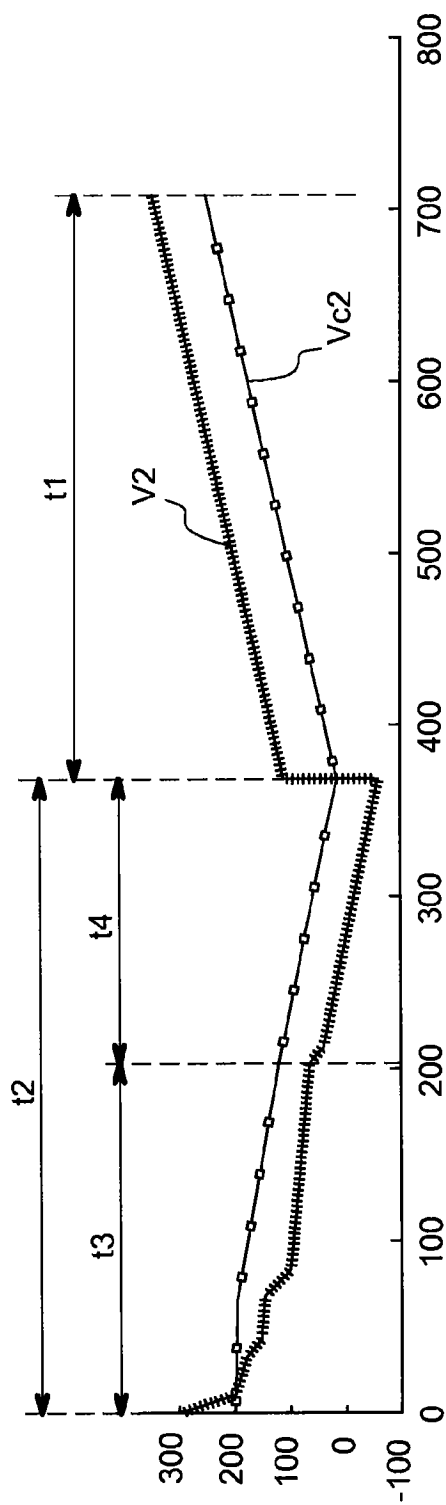


图 5

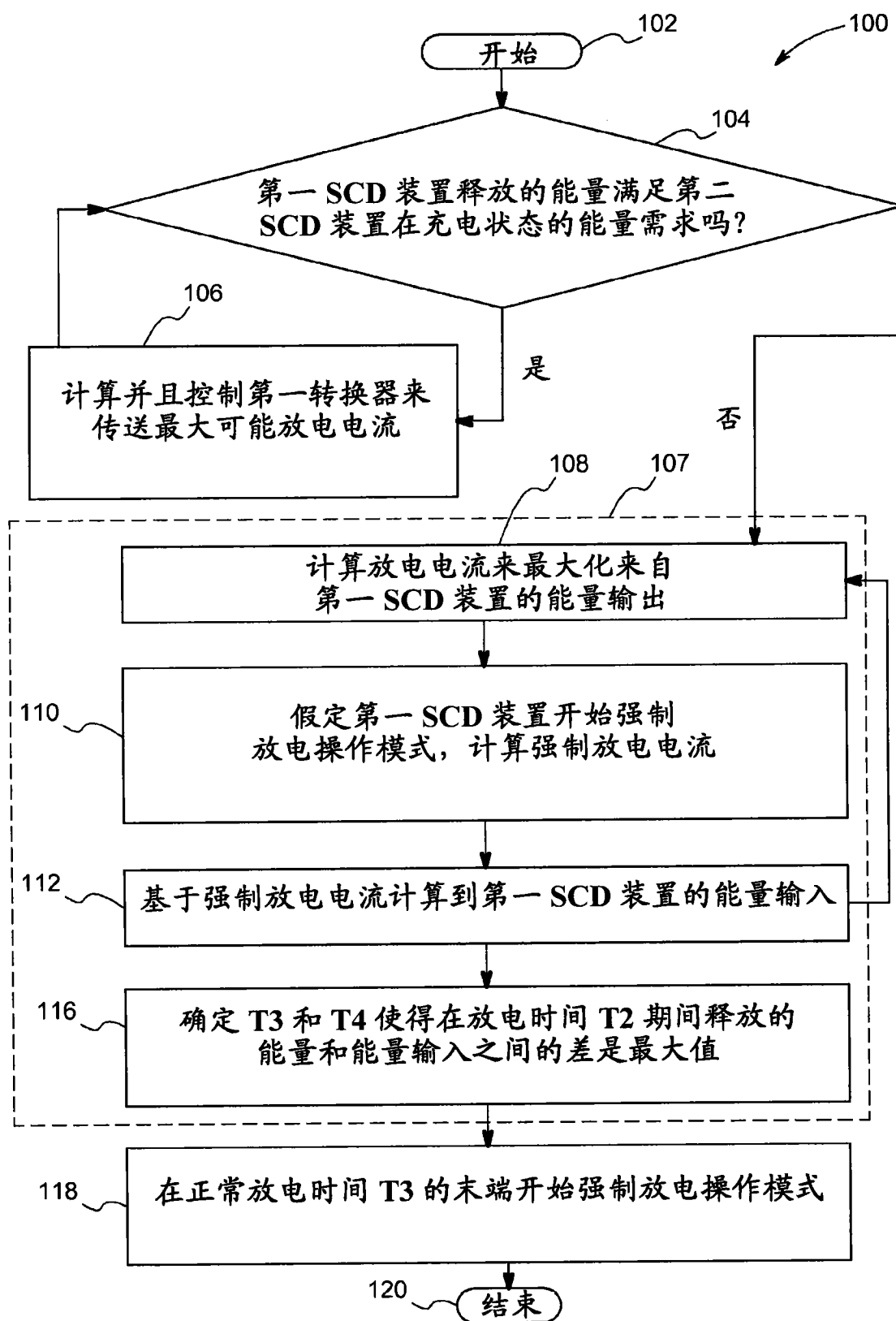


图 6

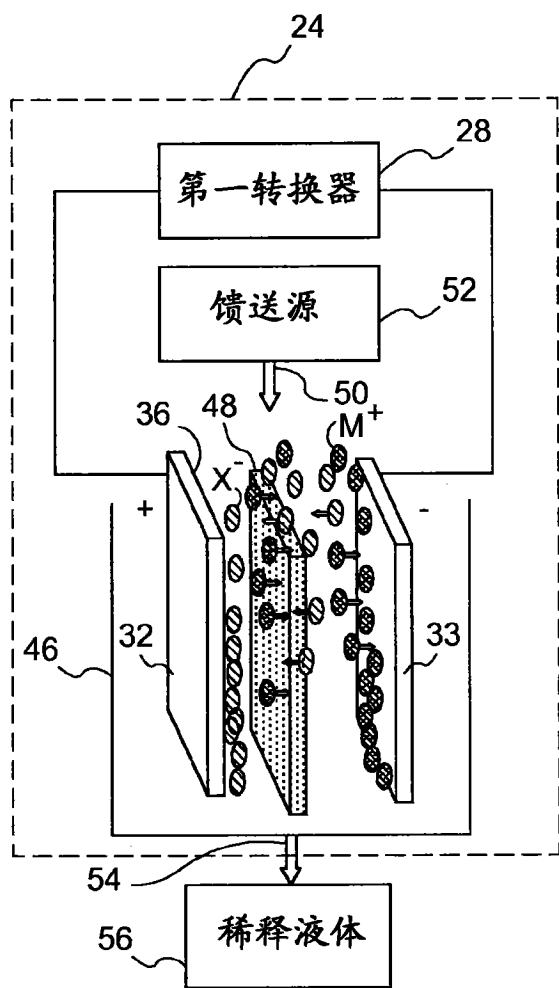


图 7

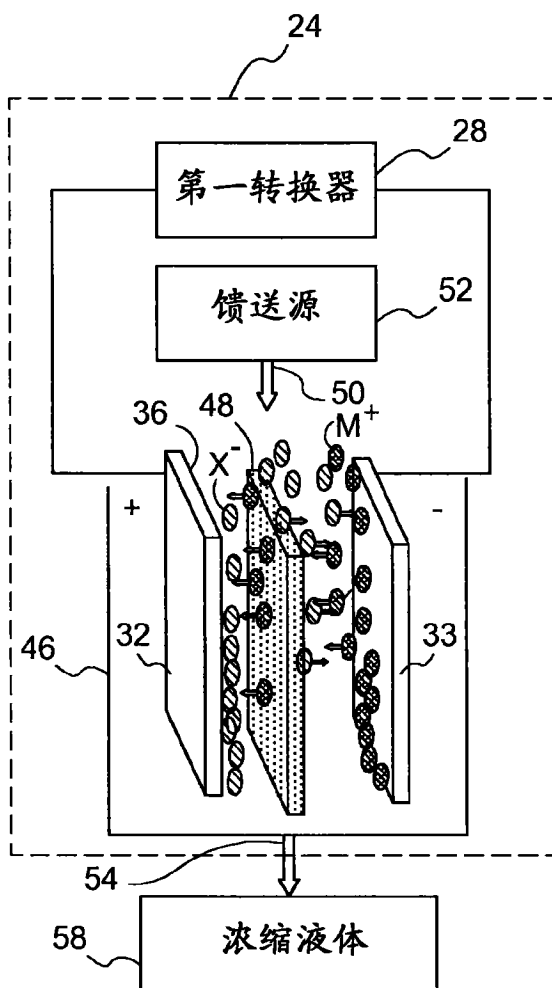


图 8

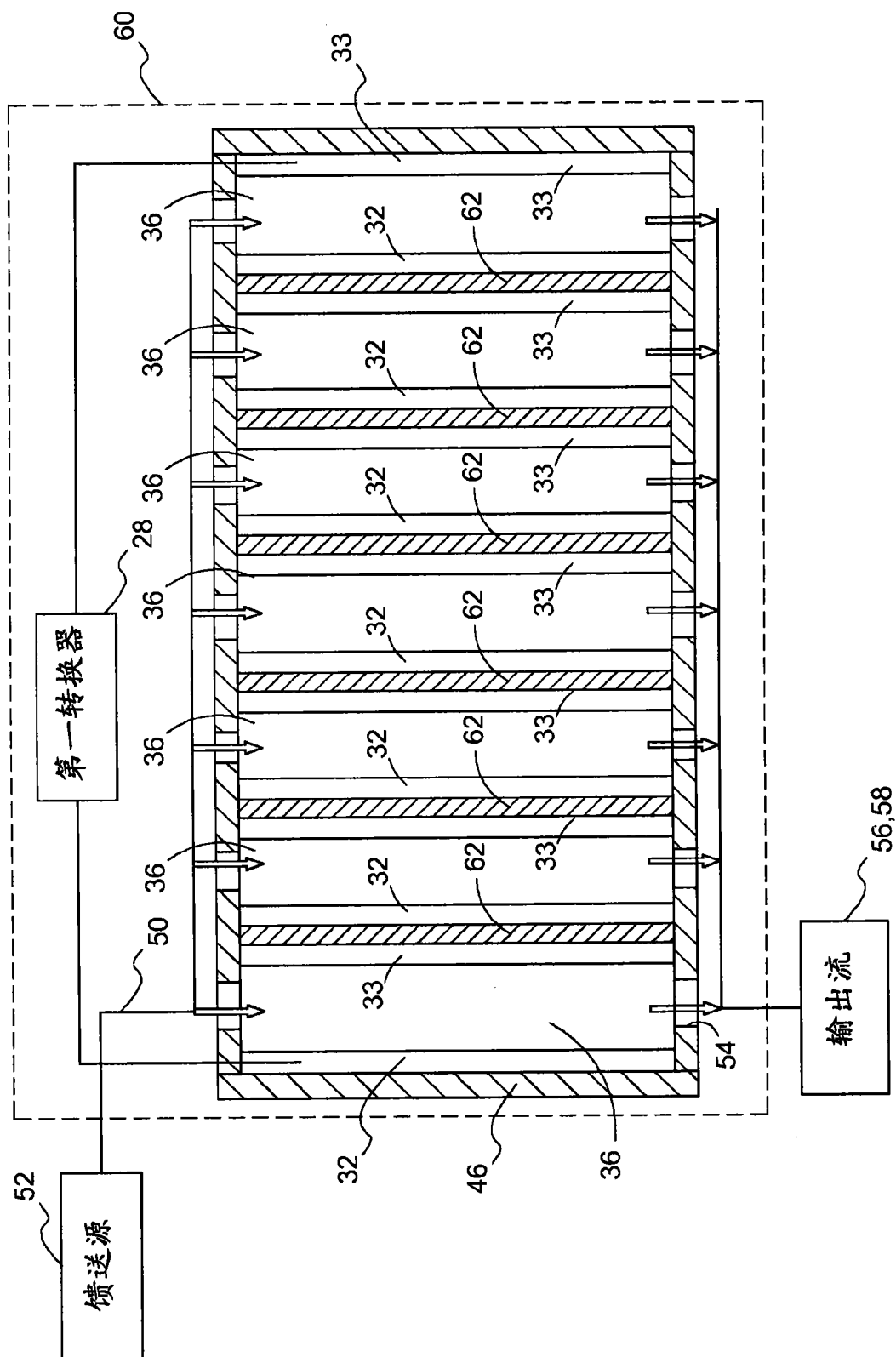


图 9

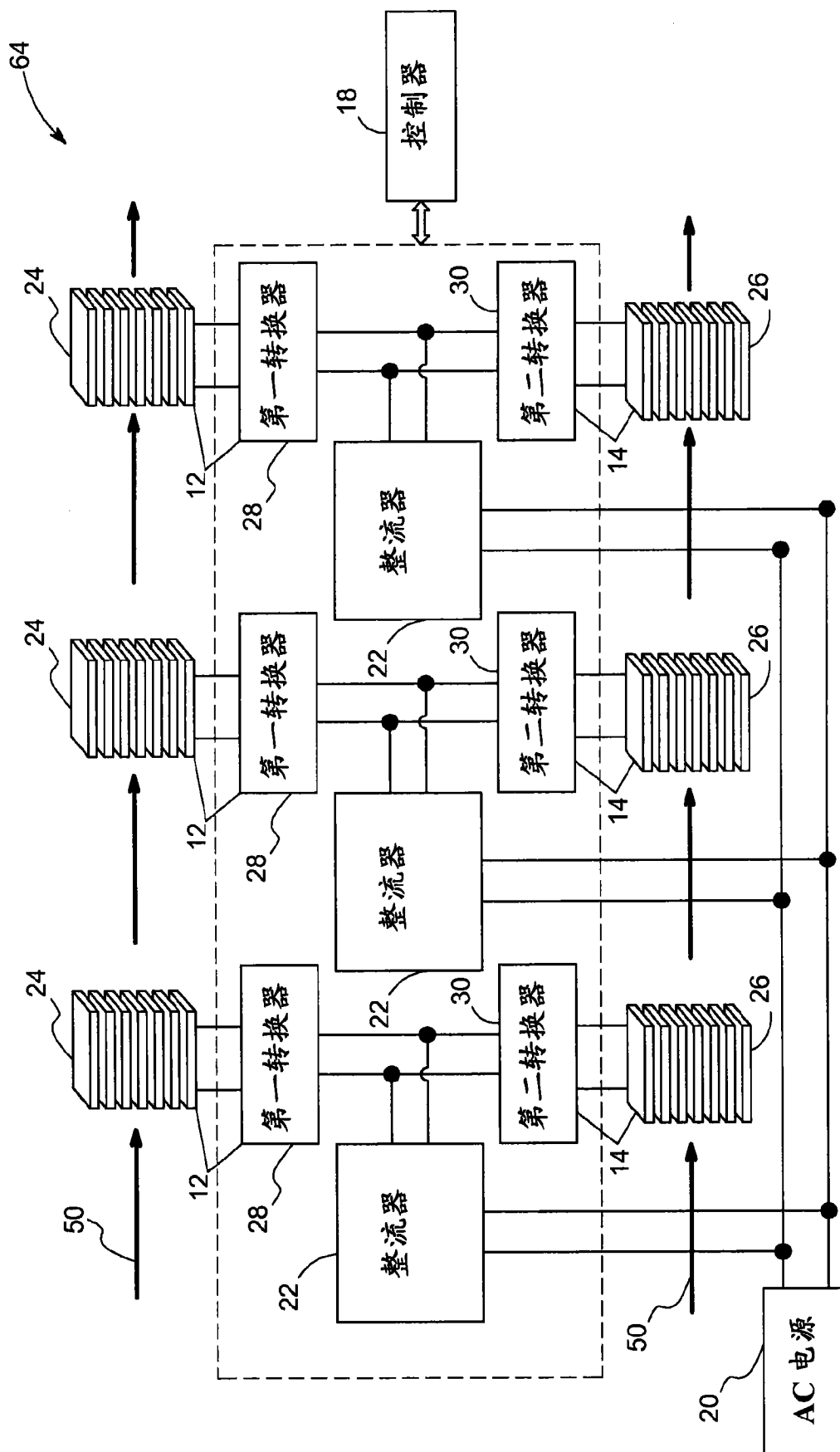


图 10