

[19] Patents Registry  
The Hong Kong Special Administrative Region  
香港特別行政區  
專利註冊處

[11] 1226552 B  
CN 105849816 B

[12]

**STANDARD PATENT SPECIFICATION**  
**標準專利說明書**

[21] Application No. 申請編號  
16114734.4

[51] Int.C1.<sup>8</sup> G21C

[22] Date of filing 提交日期  
28.12.2016

---

[54] ACTUATING A NUCLEAR REACTOR SAFETY DEVICE 致動核反應堆安全裝置

---

[30] Priority 優先權

26.12.2013 US 61/921,041

08.08.2014 US 14/455,348

[43] Date of publication of application 申請發表日期

29.09.2017

[45] Publication of the grant of the patent 批予專利的發表日期

04.01.2019

CN Application No. & Date 中國專利申請編號及日期

CN 201480071291.1 24.10.2014

CN Publication No. & Date 中國專利申請發表編號及日期

CN 105849816 10.08.2016

Date of Grant in Designated Patent Office 指定專利當局批予專利日期

29.12.2017

[73] Proprietor 專利所有人

NUSCALE POWER, LLC

1100 NE. CIRCLE BLVD.

SUITE 200, CORVALLIS

OREGON 97330

UNITED STATES/UNITED STATES OF AMERICA

[72] Inventor 發明人

HOUGH, Ted

ABB, Aaron

BRANAM, Tim

[74] Agent and / or address for service 代理人及/或送達地址

China Patent Agent (H.K.) Ltd.

22/F, Great Eagle Centre

23 Harbour Road

Wanchai HONG KONG

---



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105849816 B

(45)授权公告日 2017. 12. 29

(21)申请号 201480071291.1

(22)申请日 2014.10.24

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105849816 A

(43)申请公布日 2016.08.10

(30)优先权数据  
61/921,041 2013.12.26 US  
14/455,348 2014.08.08 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.06.27

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2014/062105 2014.10.24

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/099877 EN 2015.07.02

(73)专利权人 纽斯高动力有限责任公司  
地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 T·霍夫 A·阿布 T·布拉纳姆

(74)专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司 11285

代理人 郑建晖 钟守期

(51)Int.Cl.  
G21C 9/02(2006.01)

审查员 李乐

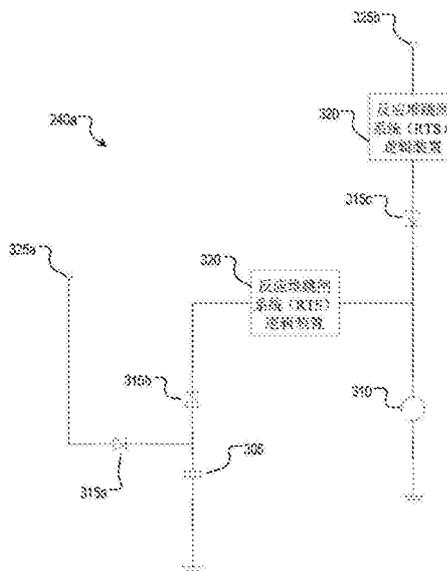
权利要求书4页 说明书14页 附图7页

(54)发明名称

致动核反应堆安全装置

(57)摘要

一种核反应堆跳闸设备包含可操作地连接至反应堆跳闸断路器以将控制棒释放到核反应堆堆芯中的远程电路断路器跳闸装置、有源电源、无源电源,以及可操作地连接至所述反应堆跳闸断路器的本地电路断路器跳闸装置,所述本地电路断路器跳闸装置包含传感器以在感测到预定义状况时触发所述本地电路断路器跳闸装置。所述有源电源经电耦合以在正常运行状况下激励所述远程电路断路器跳闸装置。所述无源电源经电耦合以基于所述有源电源的损失来激励所述远程电路断路器跳闸装置。



1. 一种核反应堆跳闸设备,包括:  
可操作地连接至反应堆跳闸断路器以将控制棒释放到核反应堆堆芯中的远程电路断路器跳闸装置;  
经电耦合以激励所述远程电路断路器跳闸装置的有源电源;  
经电耦合以基于所述有源电源的损失来激励所述远程电路断路器跳闸装置的无源电源;以及  
可操作地连接至所述反应堆跳闸断路器的本地电路断路器跳闸装置,其包含传感器以在感测到预定义状况时触发所述本地电路断路器跳闸装置。
2. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述无源电源包括电容器或电池中的至少一者。
3. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述远程电路断路器跳闸装置包括分路跳闸线圈。
4. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述本地电路断路器跳闸装置包括欠压跳闸组件。
5. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,还包括逻辑装置,所述逻辑装置包括:  
电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子,以及  
电耦合至所述有源电源和所述无源电源两者的第二端子。
6. 根据权利要求5所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。
7. 根据权利要求5所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述逻辑装置包括接触器或固态装置。
8. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,还包括:  
第一逻辑装置,包括:  
电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子,以及  
电耦合至所述有源电源的第二端子;以及  
第二逻辑装置,包括:  
电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子,以及  
电耦合至所述无源电源的第二端子。
9. 根据权利要求8所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述第一逻辑装置和所述第二逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。
10. 根据权利要求8所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述第一逻辑装置和所述第二逻辑装置包括接触器或固态装置。
11. 根据权利要求8所述的核反应堆跳闸设备,还包括:  
在所述有源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第一二极管;以及  
在所述无源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第二二极管。
12. 根据权利要求1所述的核反应堆跳闸设备,其中,所述预定义状况包括电压损失的状况。
13. 一种核反应堆跳闸设备,包括:  
远程电路断路器跳闸装置,所述远程电路断路器跳闸装置包括分路跳闸线圈,其可操

作地连接至反应堆跳闸断路器以将控制棒释放到核反应堆堆芯中；

从有源电源供电并且经电耦合以激励所述分路跳闸线圈的普通电源；

充当无源电源的电容器，其经电耦合以基于所述普通电源的损失来激励所述分路跳闸线圈；以及

第一逻辑装置，所述第一逻辑装置包括电耦合至所述分路跳闸线圈的第一端子，以及电耦合至所述普通电源和所述电容器两者的第二端子。

14. 根据权利要求13所述的核反应堆跳闸设备，其中，所述第一逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。

15. 根据权利要求13所述的核反应堆跳闸设备，其中，所述第一逻辑装置包括接触器或固态装置。

16. 根据权利要求13所述的核反应堆跳闸设备，还包括：

第二逻辑装置，包括：

电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子，以及

电耦合至所述无源电源的第二端子。

17. 根据权利要求16所述的核反应堆跳闸设备，其中，所述第一逻辑装置和所述第二逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。

18. 根据权利要求16所述的核反应堆跳闸设备，其中，所述第一逻辑装置和第二逻辑装置包括接触器或固态装置。

19. 根据权利要求16所述的核反应堆跳闸设备，还包括：

在所述有源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第一二极管；以及

在所述无源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第二二极管。

20. 一种用于提供用于使核反应堆跳闸断路器远程跳闸的备用电源的方法，包括：

提供可操作地耦合至反应堆跳闸断路器的分路跳闸线圈，所述反应堆跳闸断路器电耦合至反应堆控制棒驱动组件；

将普通电源电耦合至所述分路跳闸线圈；

将存储能量源电耦合至所述分路跳闸线圈；以及

将所述存储能量源放电。

21. 根据权利要求20所述的方法，还包括基于来自所述普通电源的电力损失从所述分路跳闸线圈电解耦所述普通电源。

22. 根据权利要求20所述的方法，还包括基于反应堆跳闸信号闭合在所述存储能量源和所述分路跳闸线圈之间的电路。

23. 根据权利要求20所述的方法，还包括从所述普通电源对所述存储能量源充电。

24. 根据权利要求23所述的方法，还包括在待用模式中从所述普通电源对所述存储能量源充电。

25. 根据权利要求24所述的方法，还包括在所述待用模式期间保持在所述存储能量源上的电荷。

26. 根据权利要求20所述的方法，还包括检测所述普通电源的损失。

27. 根据权利要求26所述的方法，其中，所述普通电源与用于从反应堆堆芯撤回耦合至所述反应堆控制棒驱动组件的一或多个控制棒的电源相关联。

28. 根据权利要求27所述的方法,还包括:  
激活第一关机系统;以及  
基于所述激活将所述一或多个控制棒插入所述反应堆堆芯中。
29. 根据权利要求28所述的方法,其中,所述插入至少部分地基于作用于所述一或多个控制棒的重力。
30. 根据权利要求27所述的方法,还包括检测所述一或多个控制棒被不恰当地或未完全插入到所述反应堆堆芯中。
31. 根据权利要求22所述的方法,还包括致动所述分路跳闸线圈。
32. 根据权利要求22所述的方法,其中将所述存储能量源放电包括基于检测到一或多个控制棒被不恰当地或未完全插入到反应堆堆芯中将所述存储能量源放电。
33. 根据权利要求22所述的方法,还包括利用所述分路跳闸线圈操作所述反应堆跳闸断路器以移动一或多个控制棒。
34. 根据权利要求33所述的方法,其中,所述一或多个控制棒被插入到反应堆堆芯中。
35. 一种核反应堆关机系统,包括:  
反应堆跳闸断路器;  
控制棒驱动器;  
欠压跳闸组件,其经配置以检测至所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器中的至少一者的第一电源的电力损失,并至少部分地基于所述检测来操作所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器;以及  
分路跳闸线圈,其由包括与所述分路跳闸线圈电耦合的电容器的无源电源致动,并且经配置以至少部分地基于所述欠压跳闸组件的失效来操作所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器;  
其中,所述电容器通过第一二极管与第二电源电耦合,并且通过第二二极管与所述分路跳闸线圈电耦合。
36. 根据权利要求35所述的核反应堆关机系统,其中,所述第二电源经配置以在正常运行状态期间对所述电容器充电。
37. 根据权利要求35所述的核反应堆关机系统,其中,所述第二电源经配置以在待用状态期间对所述电容器涓流充电。
38. 根据权利要求35所述的核反应堆关机系统,其中,所述第一电源通过第三二极管电耦合至所述分路跳闸线圈,所述第一电源耦合至所述欠压跳闸组件以向所述欠压跳闸组件提供电力。
39. 根据权利要求38所述的核反应堆关机系统,其中,所述电容器基于从所述第二电源至所述欠压跳闸组件的所检测到的电力损失而被放电。
40. 根据权利要求35所述的核反应堆关机系统,其中,所述第一和第二电源包括有源电源。
41. 根据权利要求35所述的核反应堆关机系统,还包括第一组一或多个接触件,其在所述第二二极管和所述分路跳闸线圈之间电耦合以控制所述电容器到所述分路跳闸线圈的放电或所述电容器的充电中的至少一者。
42. 根据权利要求41所述的核反应堆关机系统,还包括第二组一或多个接触件,其在所

述第一电源和所述电容器之间电耦合以控制所述电容器到所述分路跳闸线圈的放电或所述电容器的充电中的至少一者。

## 致动核反应堆安全装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求在2013年12月26日提交的题为“分路跳闸致动器(Shunt Trip Actuator)”的美国临时专利申请序列号61/921,041和在2014年8月8日提交的题为“致动核反应堆安全装置(Actuating a Nuclear Reactor Safety device)”的美国专利申请序列号14/455,348的优先权,这两个申请的全部内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开描述用于核反应堆系统的保护装置。

### 背景技术

[0004] 核反应堆系统可经设计带有各种安全系统。举例来说,核反应堆系统可包含反应堆保护系统,其设计成如果检测到异常运行状况,则远程地致使一或多个反应堆快速关机(例如SCRAM)。在一些配置中,反应堆保护系统可经配置以触发反应堆跳闸断路器的远程跳闸以引发快速反应堆关机。此外,远程跳闸装置可通过有源电源来供电,但这可能并不可用于反应堆紧急情况。举例来说,可能出现其中向反应堆跳闸断路器的远程跳闸装置供电的有源电源损失的紧急情况(例如由于设备故障、火灾等)。如果远程跳闸装置的有源电源损失,则如果随后接收到反应堆跳闸信号,那么所述远程跳闸装置可能并不使反应堆跳闸断路器跳闸。因此,至远程跳闸装置的电力损失降低反应堆保护系统的可靠性并将核反应堆系统置于潜在的危险姿态中。

### 发明内容

[0005] 在总体实施方案中,核反应堆跳闸设备包含远程电路断路器跳闸装置,其可操作地连接至反应堆跳闸断路器以将控制棒释放到核反应堆堆芯中;经电耦合以激励所述远程电路断路器跳闸装置的有源电源;经电耦合以基于有源电源的损失激励所述远程电路断路器跳闸装置的无源电源;以及可操作地连接至所述反应堆跳闸断路器的本地电路断路器跳闸装置,其包含传感器以在感测到预定义状况时触发所述本地电路断路器跳闸装置。

[0006] 在可与所述总体实施方案组合的第一方面中,所述无源电源包含电容器或电池中的至少一个。

[0007] 在可与前述方面中的任一个组合的第二方面中,所述远程电路断路器跳闸装置包含分路跳闸线圈。

[0008] 在可与前述方面中的任一个组合的第三方面中,所述本地电路断路器跳闸装置包含欠压跳闸组件。

[0009] 在可与前述方面中的任一个组合的第四方面中,所述核反应堆跳闸设备包含逻辑装置,其具有电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子与电耦合至所述有源电源和所述无源电源两者的第二端子。

[0010] 在可与前述方面中的任一个组合的第五方面中,所述逻辑装置可通信地耦合至反

应堆保护系统。

[0011] 在可与前述方面中的任一个组合的第六方面中,所述逻辑装置是接触器或固态装置。

[0012] 在可与前述方面中的任一个组合的第七方面中,所述核反应堆跳闸设备包含第一逻辑装置,其具有电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子和电耦合至所述有源电源的第二端子;以及所述核反应堆跳闸设备包含第二逻辑装置,其具有电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子和电耦合至所述无源电源的第二端子。

[0013] 在可与前述方面中的任一个组合的第八方面中,所述第一逻辑装置和所述第二逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。

[0014] 在可与前述方面中的任一个组合的第九方面中,所述第一逻辑装置和第二逻辑装置是接触器或固态装置。

[0015] 在可与前述方面中的任一个组合的第十方面中,所述核反应堆跳闸包含在所述有源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第一二极管以及在所述无源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第二二极管。

[0016] 在可与前述方面中的任一个组合的第十一方面中,所述预定义状况是电压损失的状况。

[0017] 在总体实施方案中,核反应堆跳闸设备包括远程电路断路器跳闸装置,所述远程电路断路器跳闸装置包括分路跳闸线圈,其可操作地连接至反应堆跳闸断路器以将控制棒释放到核反应堆堆芯中;从有源电源供电并且经电耦合以激励所述分路跳闸线圈的普通电源;以及充当无源电源的电容器,其经电耦合以基于所述普通电源的损失来激励所述分路跳闸线圈。

[0018] 在可与所述总体实施方案组合的第一方面中,所述核反应堆跳闸设备包含第一逻辑装置,其具有电耦合至所述分路跳闸线圈的第一端子与电耦合至所述普通电源和所述电容器两者的第二端子。

[0019] 在可与前述方面中的任一个组合的第二方面中,所述第一逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。

[0020] 在可与前述方面中的任一个组合的第三方面中,所述第一逻辑装置是接触器或固态装置。

[0021] 在可与前述方面中的任一个组合的第四方面中,所述核反应堆跳闸设备包含第一逻辑装置,其具有电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子和电耦合至所述有源电源的第二端子;以及所述核反应堆跳闸设备包含第二逻辑装置,其具有电耦合至所述远程电路断路器跳闸装置的第一端子和电耦合至所述无源电源的第二端子。

[0022] 在可与前述方面中的任一个组合的第五方面中,所述第一逻辑装置和所述第二逻辑装置可通信地耦合至反应堆保护系统。

[0023] 在可与前述方面中的任一个组合的第六方面中,所述第一逻辑装置和第二逻辑装置是接触器。

[0024] 在可与前述方面中的任一个组合的第七方面中,所述核反应堆跳闸设备包含在所述有源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第一二极管以及在所述无源电源和所述远程电路断路器跳闸装置之间电耦合的第二二极管。

[0025] 在总体实施方案中,一种用于提供用于使核反应堆跳闸断路器远程跳闸的备用电源的方法包含提供可操作地耦合至反应堆跳闸断路器的分路跳闸线圈,所述反应堆跳闸断路器电耦合至反应堆控制棒驱动组件;将普通电源电耦合至所述分路跳闸线圈;以及将存储能量源电耦合至所述分路跳闸线圈。

[0026] 在可与所述总体实施方案组合的第一方面中,所述方法包含基于所述普通电源的电力损失将所述普通电源从所述分路跳闸线圈电解耦。

[0027] 在可与前述方面中的任一个组合的第二方面中,所述方法包含基于反应堆跳闸信号闭合在所述存储能量源和所述分路跳闸线圈之间的电路。

[0028] 在可与前述方面中的任一个组合的第三方面中,所述方法包含从所述普通电源对所述存储能量源充电。

[0029] 可与前述方面中的任一个组合的第四方面还包含在待用模式中从所述普通电源对所述存储能量源充电。

[0030] 可与前述方面中的任一个组合的第五方面还包含在所述待用模式期间保持对所述存储能量源的充电。

[0031] 可与前述方面中的任一个组合的第六方面还包含检测所述普通电源的损失。

[0032] 在可与前述方面中的任一个组合的第七方面中,所述普通电源与用于从反应堆堆芯撤回耦合至所述反应堆控制棒驱动组件的一或多个控制棒的电源相关联。

[0033] 可与前述方面中的任一个组合的第八方面还包含激活第一关机系统;以及基于所述激活将所述一或多个控制棒插入所述反应堆堆芯中。

[0034] 在可与前述方面中的任一个组合的第九方面中,所述插入至少部分地基于作用于所述一或多个控制棒的重力。

[0035] 可与前述方面中的任一个组合的第十方面还包含检测所述一或多个控制棒被不恰当地或未完全地插入到所述反应堆堆芯中。

[0036] 可与前述方面中的任一个组合的第十一方面还包含将所述存储能量源放电。

[0037] 可与前述方面中的任一个组合的第十二方面还包含致动所述分路跳闸线圈。

[0038] 在可与前述方面中的任一个组合的第十三方面中,将存储能量源放电包含基于检测到所述一或多个控制棒被不恰当地或未完全地插入到反应堆堆芯中将所述存储能量源放电。

[0039] 可与前述方面中的任一个组合的第十四方面还包含利用所述分路跳闸线圈操作所述反应堆跳闸断路器以移动一或多个控制棒。

[0040] 在可与前述方面中的任一个组合的第十五方面中,所述一或多个控制棒被插入到反应堆堆芯中。

[0041] 在另一总体实施方案中,核反应堆关机系统包含反应堆跳闸断路器;控制棒驱动器;欠压跳闸组件(UVTA),其经配置以检测至所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器中的至少一个的第一电源的电力损失,并至少部分地基于所述检测来操作所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器;以及分路跳闸线圈(STC),其通过无源电源致动并经配置以至少部分地基于所述UVTA的失效来操作所述控制棒驱动器或所述反应堆跳闸断路器。

[0042] 在可与所述总体实施方案组合的第一方面中,所述无源电源包含与所述STC电耦合的电容器。

[0043] 在可与前述方面中的任一个组合的第二方面中,所述电容器通过第一二极管与第二电源电耦合,并通过第二二极管与所述STC电耦合。

[0044] 在可与前述方面中的任一个组合的第三方面中,所述第二电源经配置以在正常运行状态期间对所述电容器充电。

[0045] 在可与前述方面中的任一个组合的第四方面中,所述第二电源经配置以在待用状态期间对所述电容器涓流充电。

[0046] 在可与前述方面中的任一个组合的第五方面中,所述第一电源通过第三二极管电耦合至所述STC,所述第一电源耦合至所述UVTA以向所述UVTA提供电力。

[0047] 在可与前述方面中的任一个组合的第六方面中,所述电容器基于所检测到的从所述第二电源到所述UVTA的电力损失而被放电。

[0048] 在可与前述方面中的任一个组合的第七方面中,所述第一和第二电源包含有源电源。

[0049] 可与前述方面中的任一个组合的第八方面还包含第一组一或多个接触件,其在所述第二二极管和所述STC之间电耦合以控制所述电容器对所述STC的放电或所述电容器的充电中的至少一个。

[0050] 可与前述方面中的任一个组合的第九方面还包含第二组一或多个接触件,其在所述第一电源和所述电容器之间电耦合以控制所述电容器对所述STC的放电或所述电容器的充电中的至少一个。

[0051] 根据本公开的各种实施方案还可包含以下特征中的一个、一些或全部。例如,所描述的实施方案可提高反应堆跳闸断路器的远程跳闸的可靠性,以及相关地,提高反应堆保护系统在反应堆紧急情况期间的可靠性。另外,所述实施方案可确保用于反应堆跳闸断路器远程跳闸的备用电源保持在理想的充电状态。

[0052] 本公开的主题的一或多个实施方案的细节在附图及以下描述中阐

[0053] 明。所述主题的其它特征、实施方案和优点将从所述描述、附图和权利要求书变得显而易见。

## 附图说明

[0054] 图1A示出了核电系统的实例实施方案的框图,所述核电系统包含至少一个核电反应堆和配电系统;

[0055] 图1B示出了包含至少一个核电反应堆的核电系统的实例;

[0056] 图2示出了核反应堆控制棒驱动系统的实例实施方案;

[0057] 图3A和3B示出了带有无源电源的反应堆跳闸断路器远程跳闸的示例性实施方案的电路图;

[0058] 图4示出了包含中子源的实例反应堆堆芯配置;

[0059] 图5示出了实例反应堆关机系统;以及

[0060] 图6示出了用于执行反应堆关机的实例过程。

## 具体实施方式

[0061] 如本文中所提到的,有源电源一般是有源地生成电力(例如,与存储能量电源相比

而言)的AC或DC电源。另外,有源电源一般是在正常运行条件(例如,在核反应堆电站中的全部电源恰当地起作用时)下向电气装置供电的电源。来自有源电源的电力主要来源于机器类电源(例如,发电机),并通过一或多个电气母线供应给电负载。就直流电气装置来说,有源电源可被机器类电源供电,即在电力供应给直流电母线并最终供应给电负载之前从交流转换为直流(例如,通过电力整流器或电动发电机)。

[0062] 如本文中所提到的,无源电源一般是存储能量电源(例如,电池、电容器或不间断电源(UPS))。无源电源一般充当用于电气装置的备用电源。

[0063] 图1A示出了核电系统100的实例实施方案,其包含多个核反应堆系统150和配电系统。在一些实施方案中,系统100可提供反应堆保护系统(RPS),其可操作以自动致使反应堆远程快速关机。

[0064] 在图1A中,实例系统100包含多个核反应堆系统150与核仪器和控制(I&C)系统135。虽然在本实例中仅示出三个核反应堆系统150,但是可存在包含在核电系统100内或耦合至核电系统100的更少或更多的系统150(例如,6个、9个、12个或其它数量)。在一个优选的实施方案中,可存在包含在系统100内的十二个核反应堆系统150,其中核反应堆系统150中的一或多个包含模块化的轻水反应堆,如下文进一步描述。

[0065] 关于每个核反应堆系统150,反应堆堆芯20被放置在圆柱形或胶囊形反应堆容器70的底部部分。反应堆堆芯20包含一定量裂变材料,其产生可以在可能若干年或更长时间内发生的可控反应。虽然未在图1A中明确示出,但是控制棒可用于控制在反应堆堆芯20内的裂变速率。控制棒可包含银、铟、镉、硼、钴、铅、镉、钷、钷、钷和铀,或它们的合金和化合物。然而,这些仅是许多可能的控制棒材料中的几种。在经设计带有无源操作系统的核反应堆中,采用物理定律以确保核反应堆的安全运行在正常运行期间或甚至在紧急状况下、至少在一些预定义时段得以保持而无需操作员干预或监督。

[0066] 在实例实施方案中,圆柱形或胶囊形安全壳10包围反应堆容器70并部分或完全地浸没在反应堆池中,例如在水线90下面、在反应堆舱5内。在反应堆容器70和安全壳10之间的容积可部分或完全地抽空以减少从反应堆容器70至所述反应堆池的热传递。然而,在其它实施方案中,反应堆容器70和安全壳10之间的容积可以至少部分用气体和/或液体填充,所述气体和/或液体增加所述反应堆和安全壳之间的热传递。安全壳10可搁置在反应堆舱5基部处的裙座(未示出)上。

[0067] 在实例实施方案中,反应堆堆芯20浸没在液体例如水内,所述液体可以包含硼或其它添加剂,所述液体在与反应堆堆芯的表面进行接触之后上升到通道30中。在图1A中,在通道30内经加热冷却剂的朝上运动由箭头40表示。所述冷却剂越过热交换器50和60的顶部行进并借助于对流沿反应堆容器70的内壁向下抽出,因此允许所述冷却剂向热交换器50和60施加热量。在到达所述反应堆容器的底部部分之后,与反应堆堆芯20的接触产生对所述冷却剂的加热,加热后的冷却剂再次通过通道30上升。

[0068] 虽然热交换器50和60在图1A中被示为两个相异的元件,但是热交换器50和60可表示为环绕通道30的至少一部分的任何数量的螺旋线圈。在另一实施方案中,不同数量的螺旋线圈可在相反方向环绕通道30,其中,例如第一螺旋线圈以逆时针方向成螺旋形环绕,而第二螺旋线圈以顺时针方向成螺旋形环绕。然而,不妨碍使用不同配置和/或不同朝向的热交换器,并且实施方案在此方面不受限制。此外,虽然所示的水管80被正好放置在热交换器

50和60的上部部分上方,但是在其它实施方案中,反应堆容器70可包含更少或更多量的水。

[0069] 在图1A中,核反应堆模块的正常运行以经加热冷却剂通过通道30上升并且与热交换器50和60进行接触的方式进行。在接触热交换器50和60之后,所述冷却剂以诱发热虹吸过程的方式朝向反应堆容器90的底部落下。在图1A的实例中,在反应堆容器70内的冷却剂保持处于大气压之上的压力,因此允许所述冷却剂保持高温而不气化(例如,沸腾)。

[0070] 当在热交换器50和60内的冷却剂温度升高时,所述冷却剂可能开始沸腾。当热交换器50和60内的所述冷却剂开始沸腾时,气化的冷却剂(例如蒸汽)可以用于驱动一或多个涡轮机,这些涡轮机将蒸汽的热势能转换成电能。在冷凝之后,冷却剂返回到靠近热交换器50和60的基部的位罝。

[0071] 在图1A的反应堆模块的正常运行期间,所示的核电系统150的各种性能参数可借助于放置在所述模块内各个位置的传感器(例如,I&C系统135的传感器)来监测,所述传感器用通信信道耦合至I&C系统135的接口面板。在所述反应堆模块内的传感器可测量反应堆系统温度、反应堆系统压力、安全壳压力、反应堆初级和/或次级冷却剂的液位、反应堆堆芯中子通量和/或反应堆堆芯中子注量。表示这些测量结果的信号可借助于至反应堆舱接口面板(未示出)的管道报告给反应堆模块外部。

[0072] 每个核反应堆系统150的部件和传感器中的一或多个可为关键负载,例如有源ESF负载,例如安全壳隔离阀、衰变热清除(DHR)阀、其它可致动阀和设备以及传感器。在一些实施方案中,此类ESF部件可设计成在电源或动力源失控时无法处于它们的安全位罝。

[0073] 一般来说,所示I&C系统135提供启动信号(例如,自动的)、自动和手动控制信号以及监测和指示显示,以阻止或减轻系统100中的故障状况和/或失效部件的后果。I&C系统135提供在稳定状态和暂时电力运行期间针对核电系统150的不安全反应堆运行的正常反应堆控制和保护。在正常运行期间,仪器测量各种过程参数并向I&C系统135的控制系统传送所述信号。在异常运行和事故状况期间,所述仪器向I&C系统135的部分(例如,是RPS 145的一部分的反应堆跳闸系统(RTS) 147和工程化安全特征致动系统(ESFAS) 148(例如,用于减轻事故的影响))传送信号以基于预定设定点引发保护动作。

[0074] 一般来说,所示的RPS 145引发安全动作以减轻设计基础事件的后果。一般来说,RPS 145包含引发反应堆关机所需的从传感器到最终致动装置(电源、传感器、信号调节器、启动电路、逻辑、旁路、控制板、互连和致动装置)的全部设备(包含硬件、软件和固件)。

[0075] 在所述实例实施方案中,RPS 145包含RTS 147和ESFAS 148。在一些实施方案中,RTS 147包含四个独立的分离组(例如,带有相同类别1E电气通道标示(A、B、C或D)的物理分组过程通道),这些组设置有隔开和独立的电源馈送和过程仪器传输器,所述组中的每个组在物理上和电气上独立于其它组,分别带有独立的测量信道以监测可用于生成反应堆跳闸的电站参数。在所述参数超出预定设定点时,每个测量信道跳闸。RTS 147的一致逻辑可设计为使得在需要时单个失效不能阻止反应堆跳闸,以及在单个测量信道中的失效不能生成不必要的反应堆跳闸。(类别1E是由RG 1.32认可的根据IEEE标准.308-2001章节3.7的安规方案,其定义了对于紧急反应堆关机、安全壳隔离、反应堆堆芯冷却以及安全壳和反应堆排热必不可少的,或以其它方式在阻止放射性材料大量释放到环境中必不可少的电气设备和系统的安全分类。)

[0076] 在一些实施方案中,所述RPS监测各个核反应堆系统参数以检测需要一或多个反

应堆关机的异常或紧急状况。此外,在一些实施方案中,所述RPS向与一或多个反应堆跳闸断路器(RTB)相关联的一或多个远程跳闸装置传送跳闸信号。所述一或多个远程跳闸装置使它们的相关联RTB跳闸,致使所述反应堆的控制棒被插入到所述反应堆堆芯中,由此快速关闭所述反应堆。此外,在一些实施方案中,所述一或多个远程跳闸装置包含有源和无源电源两者,所述有源和无源电源两者可通过在紧急情况期间所述电源之一损失的情况下保持向所述远程跳闸装置供电来提高所述RPS的可靠性。

[0077] 系统100可包含四个防御梯队,例如,出于操作所述反应堆或关闭所述反应堆并使其冷却的目的,对与核反应堆附接的仪器和控制系统的布置的纵深防御的原理的特定应用,如在NUREG/Cr-6303中所定义。具体来说,所述四个梯队是控制系统、反应堆跳闸或紧急停堆系统、ESFAS以及监测和指示器系统。

[0078] 所述反应堆跳闸系统梯队通常包含RTS 147,例如设计成响应于不受控偏移来快速降低反应堆堆芯的反应性的安全设备。该梯队通常由用于检测潜在或实际偏移的仪器、用于快速和完全插入所述反应堆控制棒的设备和过程构成,并且还可包含某些化学中子缓和系统(例如,硼注入)。

[0079] 除包含所述四个防御梯队之外,系统100还包含多个水平的多样性。具体来说,I&C多样性是使用不同技术、逻辑或算法来测量变量或提供致动装置以提供对假定的电站状况作出响应的不同方式的原理。

[0080] 另外,电力系统110可向核反应堆系统150的全部电负载提供交流和直流电力。例如,交流电力(例如,120VAC,1相位,60Hz)可通过一或多个交流母线提供给核反应堆系统150。所述交流母线可划分为关键交流母线和非关键交流母线。所述关键交流母线可向关键负载(例如,ESF负载)提供交流电力。交流电力也可通过一或多个非关键交流母线提供给核反应堆系统150的非关键负载。直流电力(例如,125VDC)可通过一或多个交流母线提供给核反应堆系统150。

[0081] 简要地转向图1B,该图示出了包含至少一个核反应堆模块1的核电系统的实例。核反应堆模块1包括被反应堆容器2包围的反应堆堆芯6。在反应堆容器2中的冷却剂13包围反应堆堆芯6。反应堆堆芯6可位于包围反应堆堆芯6的侧面的护罩22中。在冷却剂13由于裂变事件而被反应堆堆芯6加热时,冷却剂13可从护罩22被向上导入到位于反应堆堆芯6上方的环23中,并离开升管24。这可致使另外的冷却剂13被抽取到护罩22中,继而被反应堆堆芯6加热,这样可抽取更多的冷却剂13到护罩22中。从升管24出现的冷却剂13可被向下冷却并被导向反应堆容器2的外部,并接着通过自然循环返回到反应堆容器2的底部。在冷却剂13被加热时,可在反应堆容器2中产生加压的蒸气11(例如蒸汽)。

[0082] 热交换器35可经配置以在次级冷却系统31中循环给水和/或蒸汽以便利用涡轮机32和发电机34生成电力。在一些实例中,所述给水经过热交换器35并可变为过热蒸汽。次级冷却系统31可包含冷凝器36和给水泵38。在一些实例中,在次级冷却系统31中的所述给水和/或蒸汽保持与反应堆容器2中的冷却剂13隔离,使得它们不能彼此混合或直接接触。

[0083] 反应堆容器2可被安全壳4包围。在一些实例中,安全壳4可被放入水池中,例如,所述水池被定位在地平面下面。安全壳4可经配置以阻止释放与反应堆容器2相关联的冷却剂13来避免其逃逸到安全壳4的外部 and/或周围的环境中。在紧急情况下,蒸气11可通过流量限制器8从反应堆容器2排放到安全壳4中,和/或冷却剂13可通过放泄阀18释放。蒸气11和/

或冷却剂13释放到安全壳4中的速率可根据反应堆容器2内的压力而改变。在一些实例中,通过在安全壳4的内壁上的蒸气11的凝结和/或抑制冷却剂13通过放泄阀18释放的组合,与反应堆堆芯6相关联的衰变热可至少部分去除。

[0084] 安全壳4可为大致圆柱形的形状。在一些实例中,安全壳4可具有一或多个椭球形、半球形或球形的端部。安全壳4可经焊接或以其它方式对环境密封,使得液体和/或气体不被允许从安全壳4逃逸或进入安全壳4中。在不同实例中,反应堆容器2和/或安全壳4可为底部支撑的、顶部支撑的、围绕其中心支撑的或其任何组合。

[0085] 反应堆容器2的内表面可暴露于包括冷却剂13和/或蒸气11的潮湿环境,以及反应堆容器2的外表面可暴露于大体干燥的环境。反应堆容器2可包括不锈钢、碳钢、其它类型的材料或复合材料或其任何组合和/或由上述材料制成。另外,反应堆容器2可包含覆层和/或绝缘材料。

[0086] 安全壳4可大体上包围在安全壳区域14内的反应堆容器2。在一些实例和/或运行模式中,安全壳区域14可包括干燥、空隙化和/或气体环境。安全壳区域14可包括一定量的空气、惰性气体例如氩气、其它类型的气体或其任何组合。在一些实例中,安全壳区域14可被保持在处于或低于大气压,例如在局部真空。在其它实例中,安全壳区域14可被保持在基本上完全真空。在安全壳2中的任何气体或多种气体可在操作反应堆模块1之前被抽空和/或去除。

[0087] 可认为某些气体在经受核反应堆系统内的操作压力下是不可凝结

[0088] 的。这些不可凝结的气体可例如包含氢气和氧气。在紧急操作期间,蒸汽可与燃料棒化学反应以产生高氢气水平。在氢气与空气或氧气混合时,这可形成可燃的混合物。通过从安全壳4去除相当大部分的空气或氧气,允许混合的氢气和氧气的量可降至最低或被消除。

[0089] 在检测到紧急状况时,滞留在安全壳区域14中的任何空气或其它气体可被去除或空隙化。被从安全壳区域14空隙化或抽空的所述气体可包括不可凝结的气体和/或可凝结的气体。可凝结的气体可包含被排放到安全壳区域14中的任何蒸汽。

[0090] 在紧急操作期间,虽然蒸气和/或蒸汽可被排放到安全壳区域14中,但只有可忽略不计的量的不可凝结气体(例如氢气)可被排放或释放到安全壳区域14中。从切实可行的观点来看,基本上无不可凝结的气体连同所述蒸气被释放到安全壳区域14中是有可能的。因此,在一些实例中,基本上没有氢气连同所述蒸气被排放到安全壳区域14中,使得可在安全壳区域14内连同任何氧气存在的氢气的水平和/或量被保持在不可燃的水平。另外,氧气-氢气混合物的该不可燃水平可被保持而无需使用氢气重组器。

[0091] 去除在空气中的对流热传递主要发生在约50托(50mm Hg)绝对压力,但是可观测到,在大致300托(300mm Hg)的绝对压力,对流热传递减小。在一些实例中,安全壳区域14可设置有或保持在低于300托(300mm Hg)的压力。在其它实例中,安全壳区域14可设置有或保持在低于50托(50mm Hg)的压力。在一些实例中,安全壳区域14可设置有和/或保持在基本上抑制在反应堆容器2和安全壳4之间的全部对流和/或传导热传递的压力水平。完全或局部真空可通过操作真空泵、蒸汽-空气喷射器、其它类型的抽真空装置或其任何组合来提供和/或保持。

[0092] 通过将安全壳区域14保持在真空或局部真空,安全壳区域14内的潮湿可被消除,

由此保护电气和机械部件以避免其腐蚀或失效。另外,在紧急操作(例如,过加压或过加热事件)期间,所述真空或局部真空可操作以抽取或拉取冷却剂到安全壳区域14中而无需使用单独的泵或升高的储料槽。所述真空或局部真空也可操作以在加燃料过程期间提供用冷却剂13淹没或填充安全壳区域14的方式。

[0093] 流量限制器8可安放在反应堆容器2上以用于在紧急操作期间排放冷却剂13和/或蒸气11到安全壳4中。流量限制器8可连接或直接安放到反应堆容器2的外壁,而无需任何介入结构,例如管道或连接件。在一些实例中,流量限制器8可被直接焊接到反应堆容器2以将任何渗漏或结构失效的可能性降至最低。流量限制器8可包括文氏管流量阀,其经配置以可控的速率将气11释放到安全壳4中。蒸气11的凝结可以与排放的蒸气11向安全壳4添加压力的速率大致相同的速率减小在安全壳4中的压力。

[0094] 作为蒸气11释放到安全壳4中的冷却剂13可在安全壳4的内表面上凝结为液体,例如水。在蒸气11变换回液态冷却剂时,蒸气11的凝结可致使在安全壳4中的压力减小。通过蒸气11在安全壳4的内表面上的凝结,可去除足够量的热量,以控制衰变热从反应堆堆芯6的去除。

[0095] 凝结的冷却剂13可下行到安全壳4的底部并汇集为液体池。在更多的蒸气11在安全壳4的内表面上凝结时,在安全壳4内的冷却剂13液位可逐渐上升。存储在蒸气11和/或冷却剂13中的热量可通过安全壳4的壁传送到周围环境。通过从安全壳区域14基本上去除气体,蒸气11在安全壳4的内表面上的凝结的初始速率可借助被抽空的气体来提高。由于冷却剂13的自然对流,因此通常聚积在安全壳4的内表面以抑制冷却剂13凝结的气体处于低水平或被从所述内表面冲走,使得凝结的速率可达到最大值。提高凝结的速率可继而提高通过安全壳4热传递的速率。

[0096] 在所述反应堆模块的正常运行期间,在安全壳区域14内的真空可充当某种类型的热绝缘,由此保持反应堆容器2中的热量和能量,其中所述热量和能量可以被继续用于发电。因此,反应堆容器2的设计可使用更少的材料绝缘。在一些实例中,可使用反射绝缘代替常规的热绝缘,或除常规的热绝缘之外还使用反射绝缘。反射绝缘可包含在反应堆容器2或安全壳4中的一者或两者上。与常规的热绝缘相比,所述反射绝缘可更耐水浸。另外,反射绝缘可与常规的热绝缘一样不妨碍在紧急状况期间热量从反应堆容器2的传递。例如,反应堆容器2的外部不锈钢表面可直接接触位于安全壳区域14中的任何冷却剂。

[0097] 所示的中子检测装置25安放在安全壳4的外部。中子检测装置25可被放置在接近于堆芯的高度。中子检测装置25可经配置以检测在反应堆堆芯6或接近反应堆堆芯6生成的中子。所检测的中子可包括快中子、慢中子、热化中子或其任何组合。在一些实例中,中子检测装置25可通过安全壳区域14与中子源隔开。由所述中子源生成的和/或从所述中子源发出的中子可在被中子检测装置25检测之前通过安全壳区域14。

[0098] 反应堆关机系统可具有用于去除和/或减少在反应堆堆芯6中的电力的一或多个机构、系统、设备、装置、方法、操作、模式和/或手段。例如,所述反应堆关机系统可经配置以插入一或多个控制棒16到反应堆堆芯6中,或允许控制棒16被插入到反应堆堆芯6中。控制棒16可被插入到反应堆堆芯6中以作为关闭反应堆模块1的操作的一部分,以用于维护、添加燃料、检测、认证、运输、在所述反应堆容器中的高压和/或高温读取、电源浪涌、临界状况的升高水平和/或所检测到的裂变事件的数量、紧急操作、其它类型的操作或其任何组合。

在一些实例中,所述反应堆关机系统可经配置以响应于由中子检测装置25所提供的信息插入控制棒16。

[0099] 图2示出了核反应堆控制棒驱动系统200的实例实施方案,其被示出在核反应堆系统(例如,核反应堆系统100)的一部分中。如图所示,控制棒驱动系统200包含驱动机构205、驱动致动器220和驱动轴210。虽然在图2中示出单个驱动机构205、驱动致动器220和驱动轴210,但是用于核反应堆的核反应堆控制棒驱动系统200可具有多个驱动机构205、驱动致动器220和驱动轴210。如图所示,所示的驱动系统200被安放在反应堆容器70中并耦合至控制棒45。在该图中的控制棒45经示出被至少部分插入到所述核反应堆系统的堆芯20中。

[0100] 在所说明的实施方案中,驱动机构205的致动器220通过反应堆跳闸断路器(RTB)235可通信地耦合至控制系统225。一般来说,控制系统225可从核反应堆系统100的一或多个传感器接收信息(例如,温度、压力、通量、阀状态、泵状态或其它信息),并且基于此信息,控制致动器220以激励或去激励驱动机构205。在一些实施方案中,控制系统225可为所述核反应堆系统的主控制器(例如,基于处理器的电子装置或其它电子控制器)。例如,所述主控制器可为可通信地耦合至在相应控制阀的从控制器的主控制器。在一些实施方案中,控制系统225可为比例-积分-导数(PID)控制器、ASIC(专用集成电路)、基于微处理器的控制器或任何其它合适的控制器。在一些实施方案中,控制系统225可为分布式控制系统的全部或部分。

[0101] 所示的驱动机构205耦合(例如螺纹式耦合)至驱动轴210,并可操作以响应于致动器220的操作来通过利用驱动轴210升高或降低控制棒45从而调节控制棒45在反应堆容器70中(例如,在堆芯20内)的位置。在一些实施方案中,驱动机构205只在正常运行期间控制驱动组件200和控制棒45的运动。

[0102] 在异常反应堆运行状况的情况下,通过将电力固定至驱动机构205,RTB 235可被跳闸(即,断开)以快速关闭反应堆系统150。利用固定至驱动机构205的电力,驱动机构205释放所述驱动轴,使控制棒45在重力下插入到反应堆堆芯20中,由此快速降低堆芯反应性并关闭反应堆系统150。在所说明的实施方案中,RTB 235被表示为单个块部件;然而,RTB 235可表示多个RTB。

[0103] RTB 235可通过三种不同方法中的一种来跳闸:手动跳闸、局部自动跳闸和远程跳闸装置240。所述局部自动跳闸通常是欠压跳闸,其在损失供电电压时(例如,从控制系统225至驱动机构205的电力)致使RTB235断开,并致使控制棒45下落。所述手动跳闸提供RTB 235的直接跳闸。所述欠压跳闸可包含监测供电电压的传感器和在预定电压或在电源电压的预定变化下使断路器跳闸。例如,所述欠压跳闸可为弹簧承载式机械装置,其包含连接至RTB 235的电源侧的螺线管,所述螺线管设计成只要由所述电源输送的电源电压在阈值(例如0V)以上则将RTB 235保持在闭合位置,由此在损失电压时使RTB 235跳闸。

[0104] 在一些实施方案中,远程跳闸装置240由RTS 147控制,并且在正常状况下(例如,远程跳闸装置240的普通电源)从一或多个有源电源245(例如,直流电力母线)供电。在远程跳闸装置240从RTS 147接收到跳闸信号时,远程跳闸装置240将RTB 235跳闸使其断开。一般来说,RPS 145包含多个传感器和检测器分离组;多个信号调节和信号调节器分离组;多个跳闸确定分离组;以及多个RTS表决分区和RTB 235。所述跳闸输入被组合在RTS表决逻辑中,以使得需要来自所述跳闸确定的一个以上的反应堆跳闸输入以产生自动反应堆跳闸输

出信号,所述自动反应堆跳闸输出信号为了与相应分区相关联的全部RTB 235或全部RTB 235的子集致动远程跳闸装置240。

[0105] 另外,远程跳闸装置240包含无源电源(例如,如图3A-3B所示的305)。所述无源电源在反应堆紧急情况期间提高远程跳闸装置240的可靠性,并且相关地提高RPS 145的可靠性。举例来说,在没有无源电源的情况下,可能产生向远程跳闸装置240供电的有源电源245(例如,普通电源)损失但是RTB 235未被致动的紧急情况。损失远程跳闸装置240的电力降低RPS 145的可靠性并使反应堆系统150置于潜在危险姿态。由于至远程跳闸装置240的有源电力245损失,因此如果从RTS 147接收到反应堆跳闸信号,远程跳闸装置240将不使RTB 235跳闸。

[0106] 图3A和3B示出了带有无源电源的反应堆跳闸断路器远程跳闸装置240a和240b的示例性特征的电路图。所示的RTB远程跳闸装置240包含无源电源305、分路跳闸线圈310、二极管(例如,具有不对称电导率的任何电气装置)315a-315c、RTS逻辑装置320以及有源电源连接件325a和325b(例如,用于连接至有源电源245)。无源电源305充当用于RTB远程跳闸装置240a和240b的备用电源。无源电源305通常是电容器,但亦可为电池或其它存储电能装置。

[0107] 分路跳闸线圈310可操作地连接至RTB 235,并在被激励时致使RTB跳闸断开。RTS逻辑装置320可通信地耦合至RTS 147,并在从RTS 147接收到跳闸信号时激励分路跳闸线圈310。RTS逻辑装置320通常是常开接触器或继电器。在一些实施方案中,所述RTS逻辑装置可为或含有一或多个高功率固态开关,例如高功率晶体管,例如金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)。一般来说,两组RTS逻辑装置320串列操作,也就是说,从RTS 147接收相同信号并且两者将至分路跳闸线圈210的电路路径同步断开或闭合。

[0108] 在实例操作中,并参考图3A,在接收跳闸信号之前,RTS装置320充当断开开关,并且无(或可忽略不计的)电流流过二极管315b和315c。电流被准许经由二极管315a从有源电源连接件325a流动以对无源电源305充电。于是在无源电源305从325a(例如,有源电源245)接收电压时,其被保持在峰值电量。在RTS逻辑装置320接收跳闸信号时,RTS逻辑装置320充当闭合开关,由此允许电流经由二极管315c从有源电源连接件325b流至分路跳闸线圈310,并经由二极管315a和315b从有源电源连接件325a流至分路跳闸线圈310。

[0109] 被激励的分路跳闸线圈310致使RTB 235跳闸断开并使控制棒45下落。通过只允许单向电力流(例如,离开连接件325a和325b),二极管315a-315c阻止连接至有源电源连接件325a和325b的电源短路。有源电源连接件325a和325b主要连接至相同电源(例如,有源电源245),但是,在一些实施方案中,它们可连接至不同电源,在此情况下,所述二极管阻止两个不同电源的交叉连接。

[0110] 如果在有源电源连接件325a或325b中的任一者的电力不可用的时间(例如,在有源电源245失效时),所述RTS逻辑装置接收到跳闸信号,则分路跳闸线圈210被从无源电源305所供应的电力激励。电流经由315b从无源电源305流至分路跳闸线圈310以跳闸断开RTB 235。二极管315a和315c阻止存储在无源电源305中的能量损失到在RTB远程跳闸装置240a外部的电路系统,并确保全部(或相当大的量的)能量被传送至分路跳闸线圈305。换句话说,在所述有源电源损失的情况下,二极管315a和315c用来将所述有源电源(例如,连接件325a或325b)从无源电源305和分路跳闸线圈310电解耦。这确保持存储在无源电源305中的能

量不被传送至和与所述有源电源相关联的电力母线连接的其它电气部件。

[0111] 图3B示出了带有无源电源305的RTB远程跳闸装置240b替代实施方案。RTB远程跳闸装置240b只包含一个RTS逻辑装置320,其控制电流从有源电源连接件325b流至分路跳闸线圈310,以及从有源电源连接件325a或无源电源305中的任一者流至所述分路跳闸线圈。

[0112] 在此配置中,二极管315a-315c仍可操作以在正常运行期间阻止连接至连接件325a和325b的电源之间的短路。在至RTB远程跳闸装置240b的有源电力损失的情况下,通过阻止任何电流从无源电源305流过连接件325a和325b,二极管315a-315c确保在损失所述有源电力时,存储在无源电源305中的全部能量被传送至分路跳闸线圈310。换句话说,二极管315a和315b用来在所述有源电源损失的情况下,从无源电源305和分路跳闸线圈310电耦所述有源电源(例如,连接件325a或325b)。

[0113] 这确保存储在无源电源305中的能量不被传送至和与所述有源电源相关联的电力母线连接的其它电气部件。用于RTB远程跳闸装置240b的无源电源305充电操作等同于上面关于RTB远程跳闸装置240a所述的无源电源305充电操作。

[0114] 图4示出了包含中子源450的实例反应堆堆芯配置400。中子源450可包括经配置以提供用于启动核链式反应的稳定和可靠的中子源的装置,例如在所述反应堆包含新燃料棒时,所述新燃料棒的来自自发性裂变的中子通量可能原本不足以用于反应堆启动的目的。中子源450可经配置以在启动期间或在被关机之后重新启动所述反应堆(例如,用于维护和/或检测)时向核燃料提供恒定数量的中子。在一些实例中,中子源450可经配置以阻止在反应堆启动期间的电力偏移。

[0115] 中子源450可经放置以便它产生的中子通量可被反应堆监测仪器检测到。例如,中子源450可被插入所述反应堆堆芯内部的按一定规律隔开的位置,例如代替一或多个燃料棒410。在所述反应堆关机时,中子源450可经配置以向所述反应堆监测仪器提供信号。在一些实例中,处于亚临界反应堆中的中子通量的稳态水平可取决于中子源450的强度。中子源450可经配置以提供最低水平的中子辐射以保持控制所述反应堆处于亚临界状态,例如在反应堆启动期间。

[0116] 控制棒和/或燃料棒410可经配置以至少部分地基于所推断的所述反应堆的功率级引发反应堆启动。所述控制棒中的一或多个可在反应堆启动期间从燃料棒410去除,致使所述反应堆堆芯变为临界。在一些实例中,所述反应堆的功率级可至少部分从中子源450辐射的中子数量推断。

[0117] 图5示出了实例反应堆关机系统500。在一些实例中,反应堆关机系统500可包括反应堆跳闸断路器(RTB)。电源可用于向所述控制棒驱动器和/或向所述RTB提供电力以将一或多个控制棒保持在撤回位置,例如悬置或至少部分悬置在反应堆堆芯上方。反应堆关机系统500可包括用于从控制棒驱动器去除电力的两或更多个的机构、系统、设备、装置、方法、操作、模式和/或措施。所述控制棒驱动器可经配置以驱动、放置、插入和/或撤回控制棒。

[0118] 反应堆关机系统500可经配置以使控制棒降低、断开、释放、插入和/或下落到反应堆堆芯中。在第一操作模式中,反应堆关机系统500可包括欠压跳闸组件(UVTA),其经配置以检测、生成、通知、发指令和/或接收至所述控制棒驱动器和/或至所述RTB的电压损失和/或电力损失。在一些实例中,电压和/或电力的损失可致使所述控制棒驱动器和/或所述RTB

断开和/或释放,使得由于将所述控制棒向下牵引的重力,所述控制棒可被允许下落和/或以其它方式被插入到所述反应堆堆芯中。

[0119] 在第二操作模式中,反应堆关机系统500可包括分路跳闸致动器(STA)和/或分路跳闸线圈(STC),其经配置以使控制棒降低、断开、释放、插入和/或下落到所述反应堆堆芯中。所述分路跳闸线圈STC可包括断路器和/或内置式磁性线圈,其可经配置以激励所述断路器和使其跳闸。所述分路跳闸线圈STC可通过外部电源来激励。

[0120] 所述分路跳闸线圈STC可用作备用关机系统,例如在所述UVTA、所述RTB和/或所述控制棒驱动器未能响应于电压和/或电力的损失将所述控制棒插入到所述反应堆堆芯中时。例如,响应于在有效的反应堆跳闸状况期间检测到电力的损失,例如由反应堆保护系统(RPS)所指示的,所述分路跳闸线圈STC可被致动以插入所述控制棒。在一些实例中,所述分路跳闸线圈STC的致动可利用无源能量源来执行。

[0121] 电力存储装置,例如电容器C1可用于存储能量,例如电能。所述电力存储装置可包括电池、电容器、超电容器、其它类型的存储装置或其任何组合。在一些实例中,电容器C1可用于向反应堆关机系统500中的一或多个其它部件,例如分路跳闸线圈STC提供能量。

[0122] 电容器C1可经配置以被充电和/或保持电荷。例如,所述电源可在反应堆模块的正常运行期间对电容器C1充电。另外,电容器C1可经配置以在待用模式期间保持电荷。在一些实例中,所述电源可经配置以在待用模式期间对电容器C1涓流充电,并且/或者在发生和/或检测到电力损失的情况下,以其它方式确保电容器C1保持最小阈值水平的存储能量。

[0123] 电容器C1可经配置以提供替代的和/或无源的源或电力以致动所述分路跳闸线圈STC,例如响应于至反应堆关机系统500的正常电力的损失。作为响应,所述分路跳闸线圈STC可经配置以操作所述RTB以使所述控制棒降低、下落和/或释放到所述反应堆堆芯中。

[0124] 反应堆关机系统500可包括与可经配置以提供用于反应堆关闭操作的无源能量源的一或多个二极管、接触件和/或电容器相关联的实例控制电路。所示的电容器C1和分路跳闸线圈STC接地。除电容器C1和分路跳闸线圈STC之外,反应堆关机系统500还可包括第一二极管D1、第二二极管D2和第三二极管D3。

[0125] 第一二极管D1可连接至第一电压源Vcc。在一些实例中,电容器C1可由第一电压源Vcc经由第一二极管D1充电。另外,电容器C1可通过第二二极管D2放电。在一些实例中,电容器C1响应于在第二电压源Vbb的电力损失被放电。

[0126] 在一些实例中,第一二极管D1和第三二极管D3中的一者或两者可经配置以阻止和/或保护一或多个部件释放存储在电容器C1上的电荷。从电容器C1释放的任何电荷可代替地朝向所述分路跳闸线圈STC。

[0127] 反应堆关机系统500可包括一或多个接触件,例如第一接触件510、第二接触件520、第三接触件530、第四接触件540、第五接触件550、第六接触件560、其它接触件或其任何组合。在一些实例中,所述一或多个接触件可包括常闭(NC)接触件。所述接触件中的一些或全部可由所述反应堆电力系统RPS控制。所述RPS可经配置以断开和/或闭合所述一或多个接触件以便控制电容器C1的充电和/或放电。

[0128] 图6示出了用于执行反应堆关机的实例过程600。在操作610,电力存储装置,例如电容器、超电容器、电池、其它存储装置或其任何组合可被充电。

[0129] 在操作620,在所述电力存储装置上的电荷可在待用模式期间保持。

[0130] 在操作630,可检测到正常运行电力的损失。在一些实例中,所述运行电力的损失可与用于从反应堆堆芯撤回一或多个控制棒的电源相关联。

[0131] 在操作640,第一关机系统可经激活以插入所述控制棒。在一些实例中,所述第一关机系统可经配置以由于所述控制棒的重力牵引而将所述控制棒插入所述反应堆堆芯中。

[0132] 在操作650,所述反应堆关机系统可检测到所述控制棒尚未恰当地和/或完全插入到所述反应堆堆芯中。例如,尽管所述控制棒已被所述第一关机系统在操作640释放,所述控制棒仍可能保持至少部分悬置在所述反应堆堆芯上方。

[0133] 在操作660,所述存储装置可响应于所述反应堆关机系统检测到所述控制棒未插入到所述反应堆堆芯中而被放电。在一些实例中,存储在所述存储装置中的电荷可被放电到作为第二关机系统的一部分的分路跳闸线圈中。

[0134] 在操作670,所述分路跳闸线圈可通过所述存储装置放电来致动和/或被供电。所述分路跳闸线圈可继而操作所述反应堆跳闸断路器以使一或多个控制棒降低、断开、释放、插入和/或下落到所述反应堆堆芯中。

[0135] 在操作680,所述一或多个控制棒可被插入到所述反应堆堆芯中以关闭所述反应堆。

[0136] 已描述主题的特定实施方案。所述实施方案的其它实施方案、更改和置换在附属权利要求书的范围内,这对于本领域的技术人员来说将是显而易见的。例如,权利要求书中所述的动作可以不同次序执行且仍实现合乎需要的结果。此外,本文所提供的实例可结合压水反应堆以及如所描述的其它类型的电力系统或它们的一些改良来描述和/或与它们兼容。例如,所述实例或其变体也可操作用于沸水反应堆、液体钠金属反应堆、球床反应堆,或设计成在空间中,例如在带有有限操作空间的推进系统中操作的反应堆。其它实例可包含各种核反应堆技术,例如采用铀氧化物、铀氢化物、铀氮化物、铀碳化物、混合氧化物和/或其它类型的放射性燃料的核反应堆。应该指出,所述实例不限于任何特定类型的反应堆冷却机构,也不限于用于在核反应堆内产生热量或与核反应堆相关联的任何特定类型的燃料。本文中所描述的任何速率和值仅作为实例提供。其它速率和值可通过实验,例如由核反应堆系统的全比例或缩比模型的构造来确定。

[0137] 因此,上面的实例实施方案的描述并不限定或限制本公开。在不脱离本发明的精神和范围的情况下,其它改变、替代和更改也是可能的。

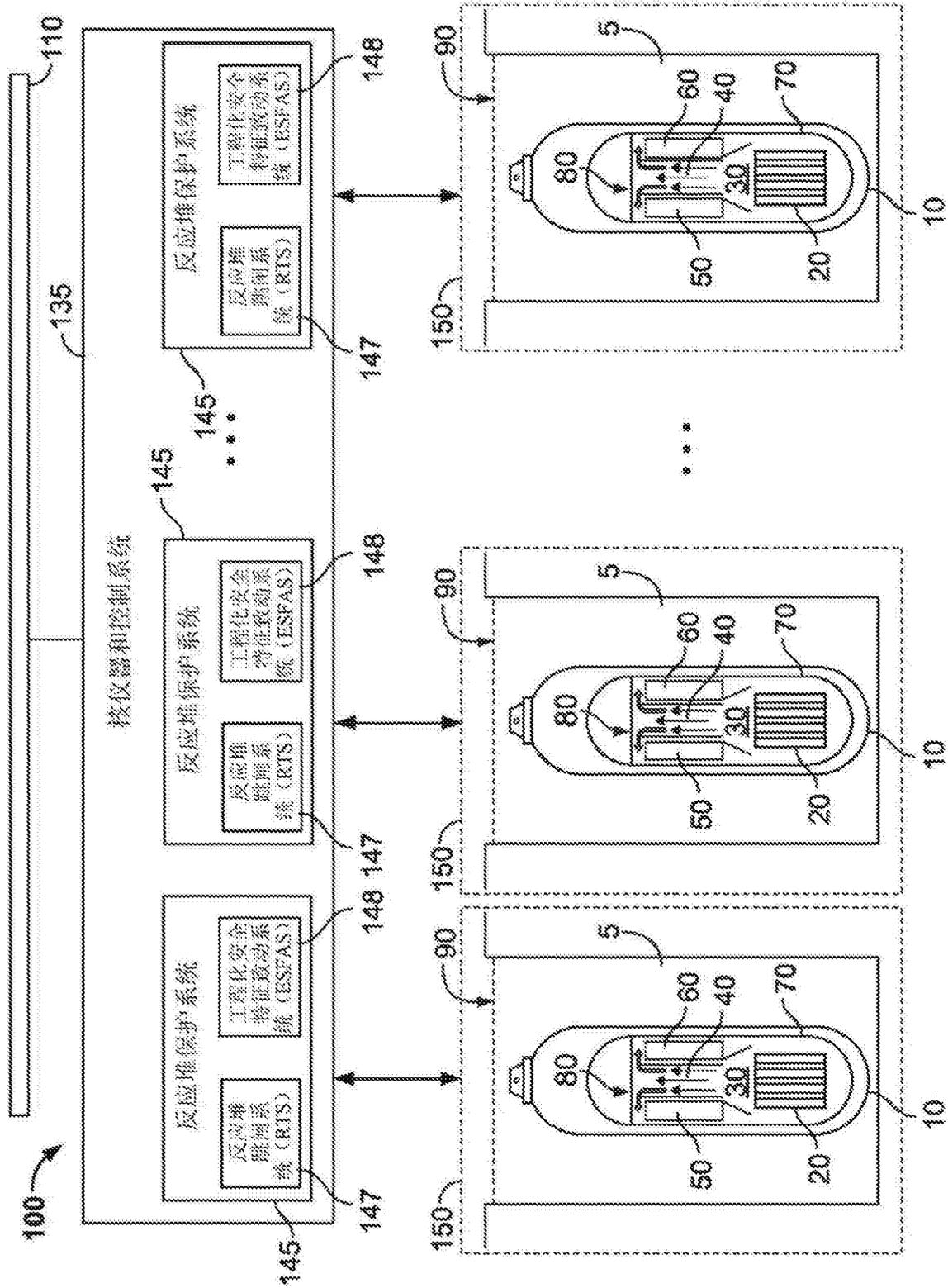


图1A

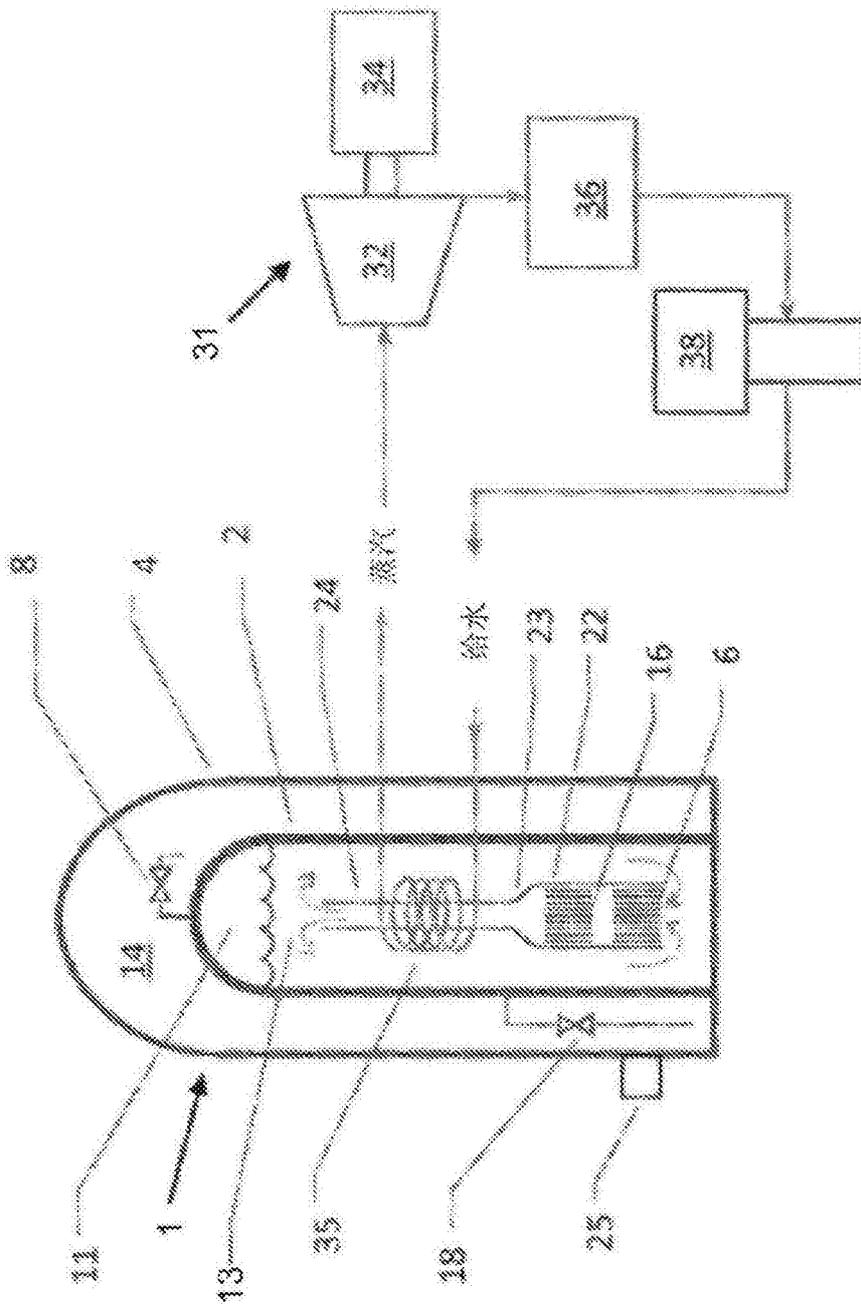


图1B

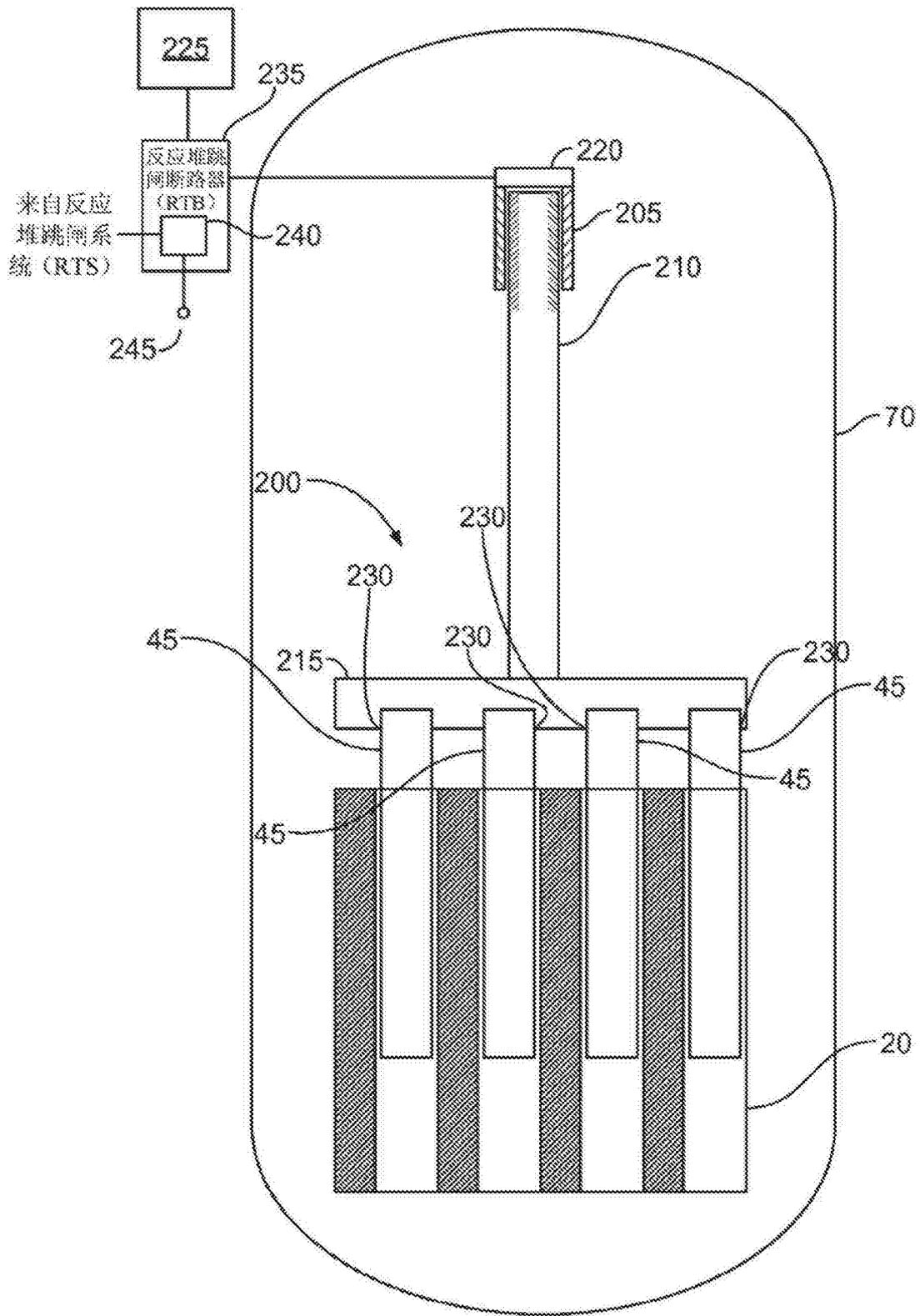


图2

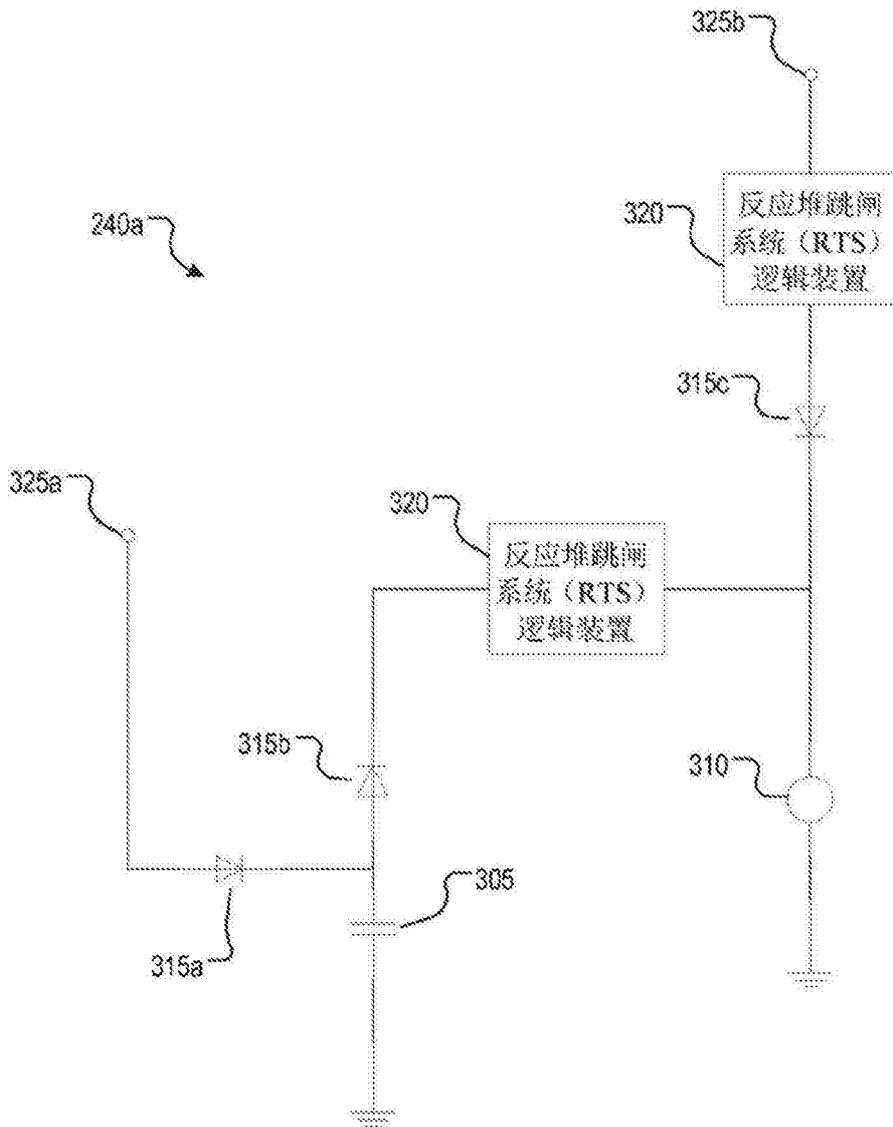


图3A

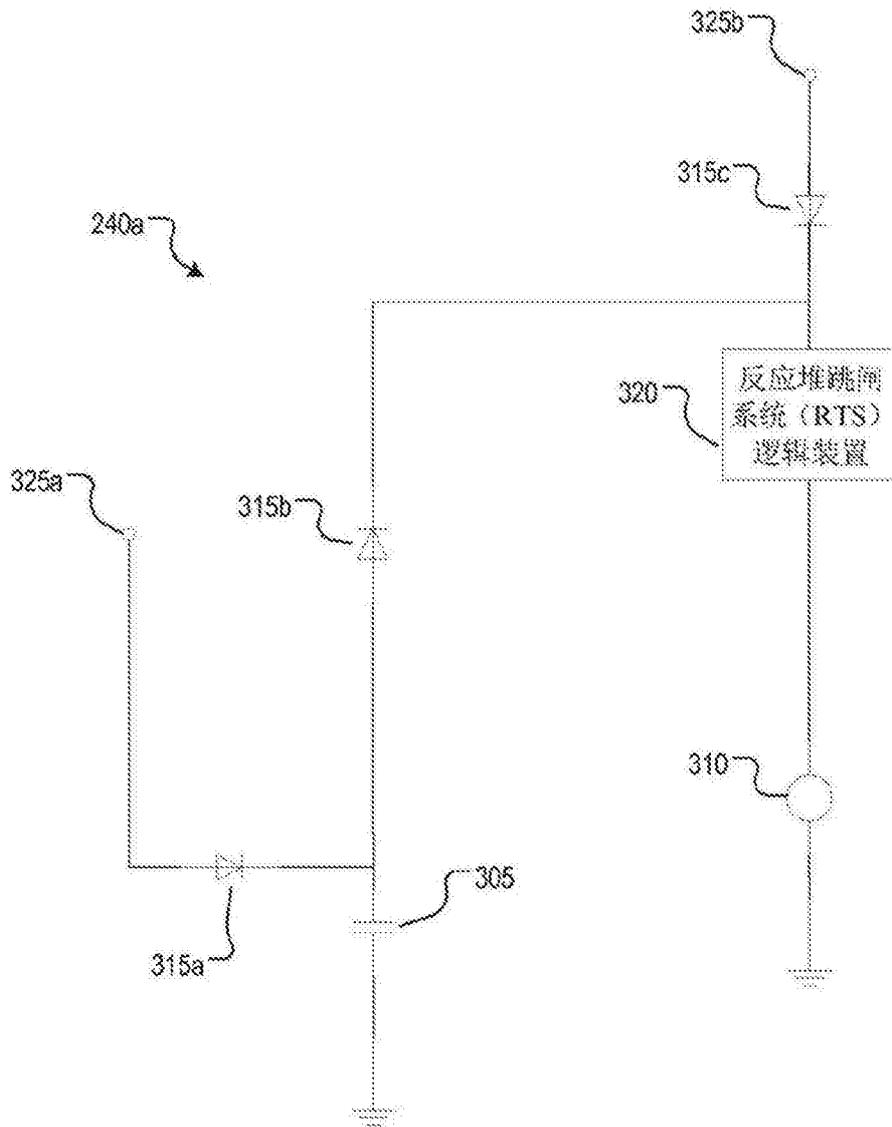


图3B

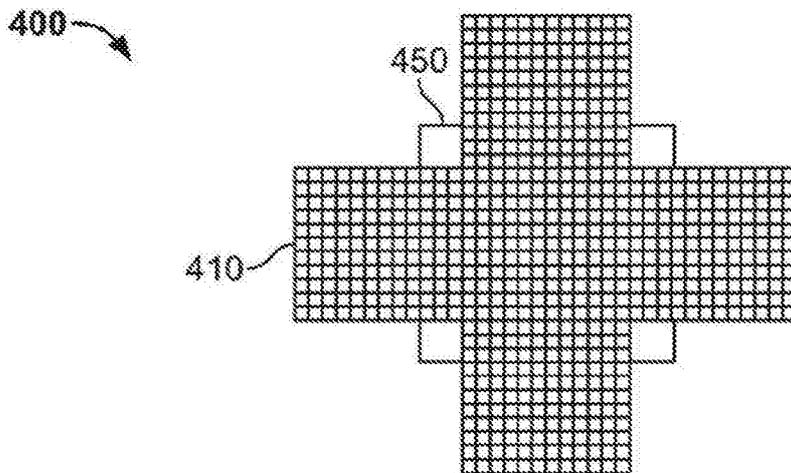


图4

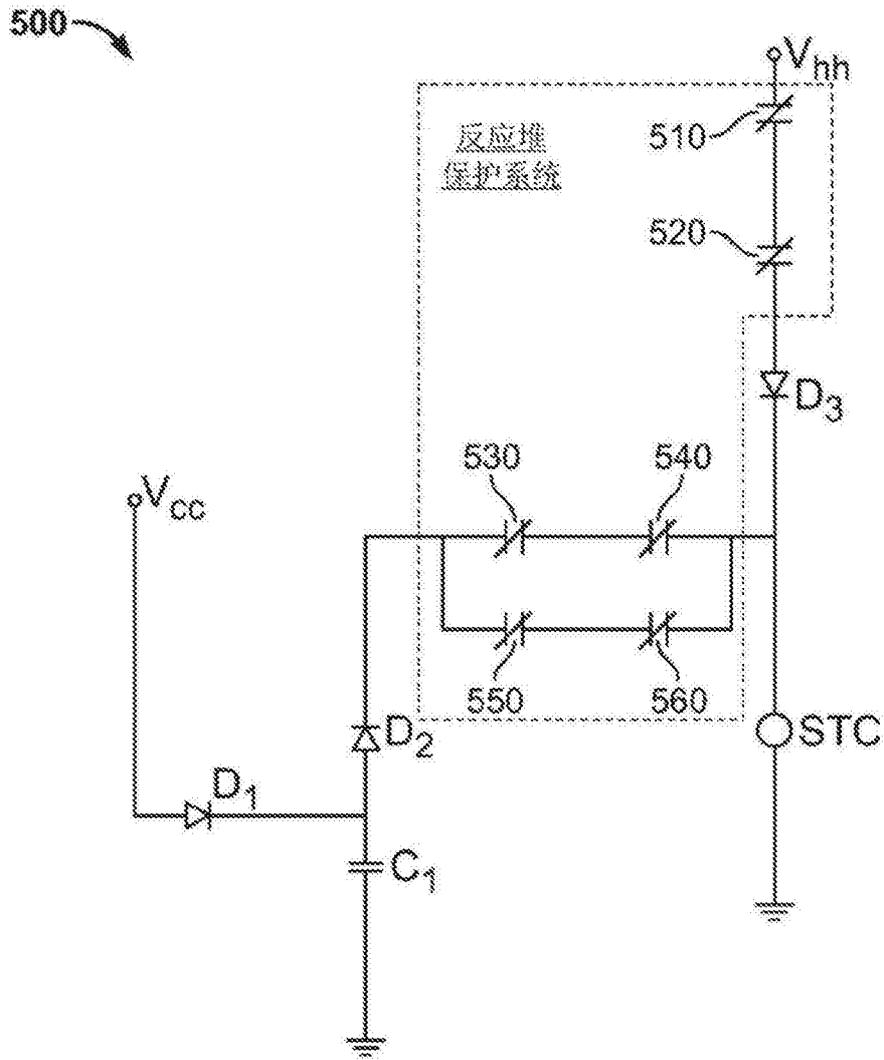


图5

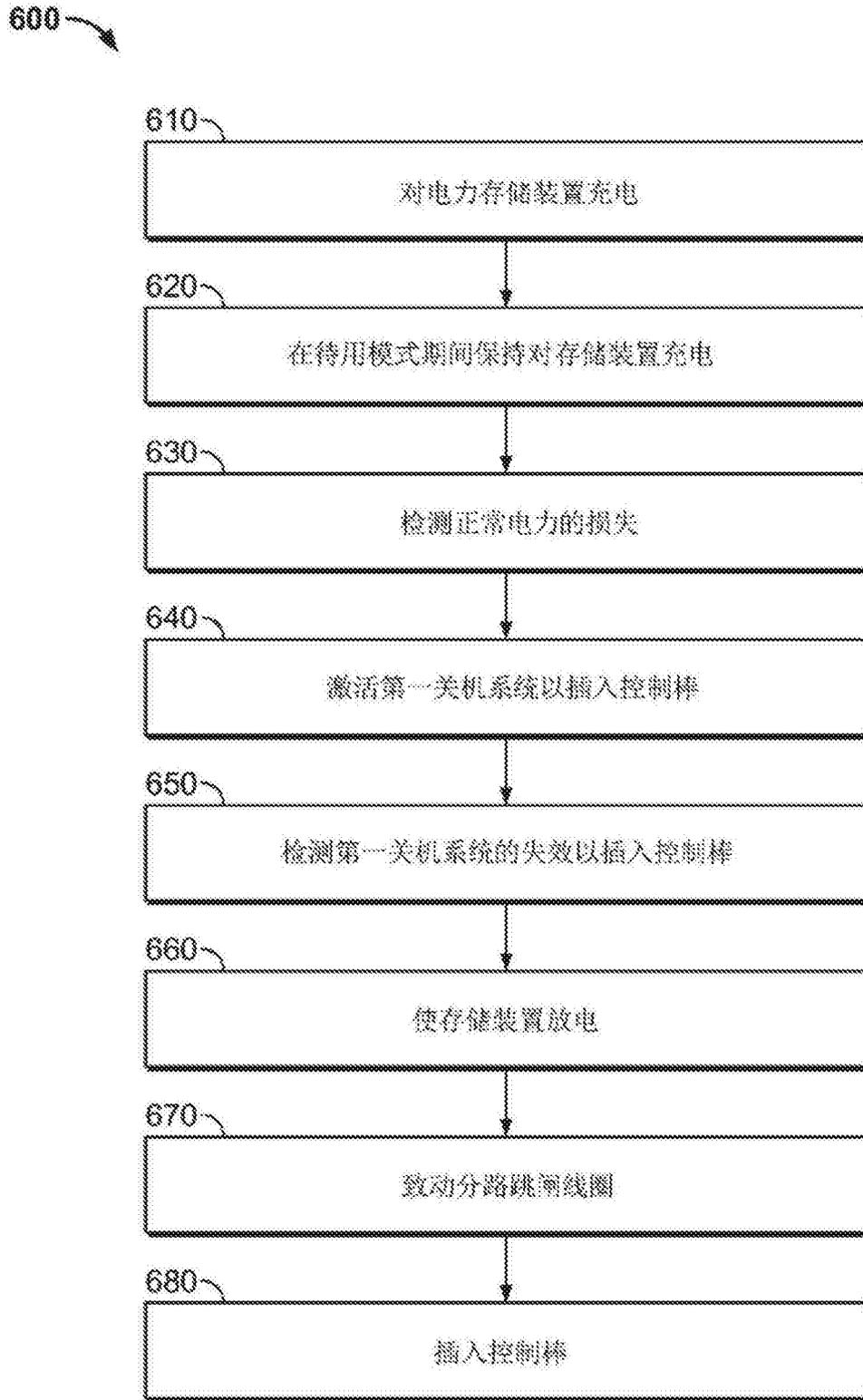


图6