



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102856571 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 11

(21) 申请号 201210220382. X

审查员 朱科

(22) 申请日 2012. 06. 29

(30) 优先权数据

13/175007 2011. 07. 01 US

(73) 专利权人 通用汽车环球科技运作有限责任公司

地址 美国密执安州

(72) 发明人 B. 麦默拉夫 B. 克劳泽

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 陶梅 杨炯

(51) Int. Cl.

H01M 8/04(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1538548 A, 2004. 10. 20, 全文.

US 2006/0286420 A1, 2006. 12. 21, 全文.

JP 特开 2009-181942 A, 2009. 08. 13, 全文.

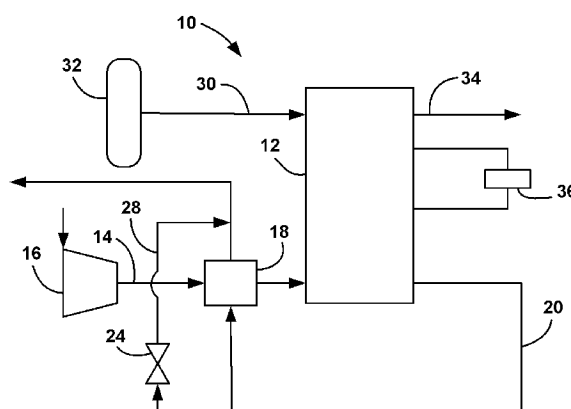
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

燃料电池堆的膜失效和燃料电池系统构件缺陷的早期检测方法

(57) 摘要

本发明涉及燃料电池堆的膜失效和燃料电池系统构件缺陷的早期检测方法,具体提供了用于确定燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的系统和方法。该方法包括监测堆电流密度和堆中燃料电池的最小电池电压。如果最小电池电压和堆电流密度均小于预定值,则该方法用最小电池电压的比例因子乘以堆电流密度的比例因子来提供膜失效因子。如果膜失效因子大于阈值,则给出可能的膜失效的提示。



1. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的方法,所述方法包括:
监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压;
从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压;
确定所述燃料电池堆的电流密度;
通过所述最小电池电压和所述堆电流密度的代表值的相乘来计算乘法因子,其中将所述最小电池电压和所述堆电流密度按比例调整在零和预定数之间以提供所述代表值,其中零代表最小电池电压和最小电流密度,并且所述预定数代表零电池电压和零堆电流密度;
以及
将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较以确定可能的膜失效是否正在发生。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述预定数是10。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述阈值乘法因子是30。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中计算所述乘法因子包括:仅在所述最小电池电压小于预定最小电池电压并且所述堆电流密度小于预定最小堆电流密度时才计算所述乘法因子。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述预定最小电池电压是667mV,并且所述预定最小堆电流密度是0.667A/cm²。
6. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:如果所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数,则确定膜失效正在发生。
7. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子。
8. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的方法,所述方法包括:
监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压;
从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压;
确定所述最小电池电压是否小于预定最小电池电压;
确定所述燃料电池堆的电流密度;
确定所述堆电流密度是否小于预定最小堆电流密度;
如果所述最小电池电压小于所述预定最小电池电压,则将所述最小电池电压按比例调整在0和10之间以提供最小电池电压比例因子,其中零代表所述预定最小电池电压,并且10代表零电池电压;
如果所述堆电流密度小于所述预定最小堆电流密度,则将所述堆电流密度按比例调整在0和10之间,其中零代表所述预定最小堆电流密度,并且10代表零堆电流密度;
计算乘法因子,所述乘法因子是所述最小电池电压比例因子乘以所述最小堆电流密度比例因子所得的积;
将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较;以及
如果所述乘法因子大于所述阈值乘法因子,则确定膜失效可能正在发生。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述阈值乘法因子是30。
10. 根据权利要求8所述的方法,其中所述预定最小电池电压是667mV,并且所述预定最小堆电流密度是0.667A/cm²。
11. 根据权利要求8所述的方法,进一步包括:如果所述乘法因子大于所述阈值乘法因

子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数,则确定膜失效正在发生。

12. 根据权利要求 8 所述的方法,进一步包括:在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子。

13. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的系统,所述系统包括:

用于监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压的装置;

用于从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压的装置;

用于确定所述燃料电池堆的堆电流密度的装置;

用于通过所述最小电池电压和所述堆电流密度的代表值的相乘来计算乘法因子的装置;

用于将所述最小电池电压和所述堆电流密度按比例调整在零和预定数之间以提供所述代表值的装置,其中零代表最小电池电压和最小电流密度,并且所述预定数代表零电池电压和零堆电流密度;

用于将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较以确定可能的膜失效是否正在发生的装置;以及

用于在所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数时确定膜失效正在发生的装置。

14. 根据权利要求 13 所述的系统,其中所述用于计算所述乘法因子的装置只有在所述最小电池电压小于预定最小电池电压并且所述堆电流密度小于预定最小堆电流密度的时候才计算所述乘法因子。

15. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述预定最小电池电压是 667mV,并且所述预定最小堆电流密度是 $0.667\text{A}/\text{cm}^2$ 。

16. 根据权利要求 13 所述的系统,进一步包括用于在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子的装置。

燃料电池堆的膜失效和燃料电池系统构件缺陷的早期检测方法

技术领域

[0001] 本发明大体涉及用于检测燃料电池堆中燃料电池的可能的膜失效的系统和方法，并且更具体地，涉及包括如下方面的用于检测燃料电池堆中燃料电池的可能的膜失效的系统和方法：确定根据最小电池电压和堆电流密度确定的乘法因子是否大于表示可能的失效的预定乘法因子。

背景技术

[0002] 氢是非常有吸引力的燃料，因为它清洁并且能够用来在燃料电池中有效地发电。氢燃料电池是如下电化学装置：包括阳极和阴极，电解质在它们之间。阳极接收氢气，并且阴极接收氧或空气。氢气在阳极被离解从而产生自由质子和电子。质子经过电解质到阴极。质子与阴极中的氧和电子反应从而生成水。来自阳极的电子不能经过电解质，并且因此在被传送到阴极之前被引导通过负荷进行工作。

[0003] 质子交换膜燃料电池（PEMFC）是用于车辆的受欢迎的燃料电池。PEMFC 一般包括诸如全氟磺酸膜的固体聚合物电解质质子传导膜。阳极和阴极通常包含磨碎的催化颗粒，所述催化颗粒通常是铂（Pt），被支撑在碳颗粒上并且与离聚物混合。催化混合物沉积在膜的相对侧。阳极催化混合物、阴极催化混合物和膜的组合体限定了膜电极组件（MEA）。MEA 可通过其它技术制造，例如催化剂涂覆扩散介质（CCDM）和物理气相沉积（PVD）工艺。MEA 的制造相对较贵并且需要用于有效操作的特定条件。

[0004] 数个燃料电池通常合并并在燃料电池堆中以产生期望的电力。例如，用于车辆的典型的燃料电池堆可以具有两百个或更多个堆积的燃料电池。燃料电池堆接收阴极输入反应性气体，该反应性气体通常是通过压缩机强制通过燃料电池堆的空气流。并不是所有的氧气均被燃料电池堆消耗，而是一些空气被输出作为阴极排气，该阴极排气可能包括作为堆副产物的水。燃料电池堆还接收流入燃料电池堆的阳极侧的阳极氢气反应性气体。燃料电池堆还包括流道，冷却流体通过该流道流动。

[0005] 燃料电池堆包括一系列双极板，该一系列双极板定位在燃料电池堆中的几个 MEA 之间，其中双极板和 MEA 定位在两个端板之间。双极板包括用于燃料电池堆中相邻燃料电池的阳极侧和阴极侧。阳极气体流道设置在双极板的阳极侧上，允许阳极反应性气体流到相应的 MEA。阴极气体流道设置在双极板的阴极侧上，允许阴极反应性气体流到相应的 MEA。一个端板包括阳极气体流道，并且另一个端板包括阴极气体流道。双极板和端板均由导电材料制成，所述导电材料诸如不锈钢或导电复合材料。端板将由燃料电池所产生的电传导出燃料电池堆。双极板还包括流道，冷却流体通过该流道流动。

[0006] 随着燃料电池堆的老化，燃料电池堆中单独的电池的性能因各种因素而有区别地退化。存在低性能电池的不同原因，诸如电池溢流、催化剂消耗等，一些是临时性的并且一些是永久性的，一些需要维护，并且一些需要进行燃料电池堆或燃料电池替换以更换那些低性能电池。虽然燃料电池串联地电联接，但是当负荷联接在燃料电池堆两端时，每个电池

的电压有区别地下降,其中那些是低性能电池的电池具有较低的电压。因此,有必要监测燃料电池堆中燃料电池的电池电压以确保电池的电压不会下降到预定阈值电压之下从而防止电池电压极性反转,所述极性反转可能导致对电池的永久性损伤。

[0007] 一种类型的燃料电池退化是电池膜失效,尤其在低的堆电流密度下电池膜失效会引起电池电压损失。膜失效通常是许多因素的结果。例如,燃料和氧化剂的无效分离可导致膜和 MEA 的加速失效。另外,膜失效能够因如下机械应力而发生:所述机械应力因动态运行和运行条件上的动态改变尤其是由于温度和湿度的不断变化而在膜上产生。能够引起膜失效的另一个因素是化学应力,所述化学应力可在运行燃料电池中发生。膜失效也可能是诸如机械失效或疲劳失效、短路等的其它因素的结果。

[0008] 电池膜失效通常将引起两个现象中的一个或两个。作为引起燃料电池的电压损失的针孔(pin-hole)和膜变薄的结果而产生的那些现象中的一个包括反应性气体跨越穿过燃料电池中的膜。响应于燃料电池内的作为其运行的结果的电环境,针孔随时间推移而发生。反应性气体跨越(cross-over)能够从阴极到阳极或从阳极到阴极发生,这取决于阳极和阴极之间的相对压力和局部压力,它们具有相同的失效后果。随着针孔的尺寸增加并且横跨穿过膜的气体量增加,最终将发生电池失效。此外,在从燃料电池堆提取很大功率的高负载下,作为跨越的结果而出现的低性能电池可导致堆快速停止。

[0009] 电池膜失效的另一现象因电池短路而发生,其中阴极电极和阳极电极由于一些不期望的条件而变成彼此直接接触。

[0010] 其它类型的燃料电池退化一般被称为电极失效,它也会引起电池电压损失并且通常在所有堆电流密度下或至少在高堆电流密度下发生。燃料电池电极失效通常是随时间推移而发生的流道溢流和一般电池退化、催化剂活性损失、催化剂载体腐蚀、电极孔隙度损失等的结果。

[0011] 2010 年 1 月 20 日提交的标题为“Detection Method for Membrane Electrode Failures and Fuel Cell Stacks (用于膜电极失效和燃料电池堆的检测方法)”的美国申请 No. 12/690,672,公开了用于检测燃料电池堆的燃料电池中膜失效的系统和方法,其包括计算绝对三角接线电压值(delta voltage value),该三角接线电压值是多个采样点处的平均电池电压和最小电池电压之差的平均值,该美国申请被转让给本申请的受让人并且通过引用并入此处。

[0012] 如上所讨论的,已经表明,由于随着燃料电池堆接近其寿命末期而老化,堆中的许多燃料电池膜变得相对较薄并且允许增加的穿过膜的跨越,该跨越具有上面所提及的不期望的影响。因为膜的大部分的确变薄,所以平均电池电压降低,并且平均电池电压和最小电池电压之间的相对差可能不能表示存在膜变薄和跨越问题。此外,已经表明,在高的堆电流密度下(其中阳极和阴极流率高),阳极和阴极化学计量通常克服跨越的问题,其中该问题可能是不可检测到的。

[0013] 已经表明,堆跨越(stack cross-over)问题在低的堆电流密度下变得更普遍,其中流率低并且跨越效应未被掩盖。此外,当供给至堆的阴极侧和阳极侧的氢气和氧气的量受到严格控制以确保适当的排放和堆运行时,堆跨越变得更明显,其中作为跨越的结果的那些气体的任何减少在堆稳定性上可具有显著的且不期望的影响。

发明内容

[0014] 根据本发明的教义,公开了用于确定燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的系统和方法。该方法包括监测堆电流密度和堆中燃料电池的最小电池电压。如果最小电池电压和堆电流密度均小于预定值,则该方法用最小电池电压的比例因子乘以堆电流密度的比例因子来提供膜失效因子。如果膜失效因子大于阈值,则给出可能的膜失效的提示。

[0015] 本发明还涉及以下技术方案。

[0016] 方案 1. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的方法,所述方法包括:

[0017] 监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压;

[0018] 从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压;

[0019] 确定所述燃料电池堆的电流密度;

[0020] 通过所述最小电池电压和所述堆电流密度的代表值的相乘来计算乘法因子;以及

[0021] 将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较以确定可能的膜失效是否正在发生。

[0022] 方案 2. 根据方案 1 所述的方法,进一步包括:将所述最小电池电压和所述堆电流密度按比例调整在零和预定数之间以提供所述代表值,其中零代表最小电池电压和最小电流密度,并且所述预定数代表零电池电压和零堆电流密度。

[0023] 方案 3. 根据方案 2 所述的方法,其中所述预定数是 10。

[0024] 方案 4. 根据方案 3 所述的方法,其中所述阈值乘法因子是 30。

[0025] 方案 5. 根据方案 1 所述的方法,其中计算所述乘法因子包括:仅在所述最小电池电压小于预定最小电池电压并且所述堆电流密度小于预定最小堆电流密度时才计算所述乘法因子。

[0026] 方案 6. 根据方案 5 所述的方法,其中所述预定最小电池电压是 667mV,并且所述预定最小堆电流密度是 0.667A/cm²。

[0027] 方案 7. 根据方案 1 所述的方法,进一步包括:如果所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数,则确定膜失效正在发生。

[0028] 方案 8. 根据方案 1 所述的方法,进一步包括:在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子。

[0029] 方案 9. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的方法,所述方法包括:

[0030] 监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压;

[0031] 从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压;

[0032] 确定所述最小电池电压是否小于预定最小电池电压;

[0033] 确定所述燃料电池堆的电流密度;

[0034] 确定所述堆电流密度是否小于预定最小堆电流密度;

[0035] 如果所述最小电池电压小于所述预定最小电池电压,则将所述最小电池电压按比例调整在 0 和 10 之间以提供最小电池电压比例因子,其中零代表所述预定最小电池电压,并且 10 代表零电池电压;

[0036] 如果所述堆电流密度小于所述预定最小堆电流密度,则将所述堆电流密度按比例调整在 0 和 10 之间,其中零代表所述预定最小堆电流密度,并且 10 代表零堆电流密度;

[0037] 计算乘法因子,所述乘法因子是所述最小电池电压比例因子乘以所述最小堆电流密度比例因子所得的积;

[0038] 将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较;以及

[0039] 如果所述乘法因子大于所述乘法因子阈值,则确定膜失效可能正在发生。

[0040] 方案 10. 根据方案 9 所述的方法,其中所述阈值乘法因子是 30。

[0041] 方案 11. 根据方案 9 所述的方法,其中所述预定最小电池电压是 667mV,并且所述预定最小堆电流密度是 $0.667\text{A}/\text{cm}^2$ 。

[0042] 方案 12. 根据方案 9 所述的方法,进一步包括:如果所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数,则确定膜失效正在发生。

[0043] 方案 13. 根据方案 9 所述的方法,进一步包括:在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子。

[0044] 方案 14. 一种用于检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的系统,所述系统包括:

[0045] 用于监测所述燃料电池堆中燃料电池的电压的装置;

[0046] 用于从所述燃料电池堆中燃料电池的电池电压识别最小电池电压的装置;

[0047] 用于确定所述燃料电池堆的堆电流密度的装置;

[0048] 用于通过所述最小电池电压和所述堆电流密度的代表值的相乘来计算乘法因子的装置;

[0049] 用于将所述乘法因子与阈值乘法因子相比较以确定可能的膜失效是否正在发生的装置;以及

[0050] 用于在所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数时确定膜失效正在发生的装置。

[0051] 方案 15. 根据方案 14 所述的系统,进一步包括用于将所述最小电池电压和所述堆电流密度按比例调整在零和预定数之间以提供所述代表值的装置,其中零代表最小电池电压和最小电流密度,并且所述预定数代表零电池电压和零堆电流密度。

[0052] 方案 16. 根据方案 14 所述的系统,其中所述用于计算所述乘法因子的装置只有在所述最小电池电压小于预定最小电池电压并且所述堆电流密度小于预定最小堆电流密度的时候才计算所述乘法因子。

[0053] 方案 17. 根据方案 16 所述的系统,其中所述预定最小电池电压是 667mV,并且所述预定最小堆电流密度是 $0.667\text{A}/\text{cm}^2$ 。

[0054] 方案 18. 根据方案 14 所述的系统,进一步包括用于在所述乘法因子大于所述阈值乘法因子的次数超过所述乘法因子被计算的多次的预定次数时确定膜失效正在发生的装置。

[0055] 方案 19. 根据方案 14 所述的系统,进一步包括用于在某一时间段内存储所有计算出的乘法因子中的最大乘法因子。

[0056] 本发明的另外的特征将从结合附图所作出的下列描述和所附权利要求变得明显。

附图说明

[0057] 图 1 是燃料电池系统的简化的框图。

[0058] 图 2 是示出了用于确定堆膜失效的关系的图形,其中横轴上是堆电流密度,纵轴上是最小电池电压。

[0059] 图 3 是示出了用于确定堆膜失效的过程的流程图。

具体实施方式

[0060] 对涉及基于最小电池电压和堆电流密度之间的乘法因子来检测燃料电池堆的燃料电池中可能的膜失效的系统和方法的本发明的实施例的下列讨论,性质上仅仅是示例性的,并且决不旨在限制本发明或其应用或使用。

[0061] 图 1 是包括燃料电池堆 12 的燃料电池系统 10 的示意框图。压缩机 16 在阴极输入线 14 上通过水蒸汽传递 (WVT) 单元 18 对燃料电池堆 12 的阴极侧提供空气流,该 WVT 单元将阴极输入空气润湿。阴极排气在阴极排气线 20 上从堆 12 输出。阴极排气线 20 将阴极排气引导至 WVT 单元 18 从而提供用来将阴极输入空气润湿的水蒸汽。旁通线 28 环绕 WVT 单元 18 设置,并且旁通阀 24 设置在旁通线 28 中且被控制以选择性地再引导阴极排气穿过或环绕 WVT 单元 18 来对阴极输入空气提供期望的湿度量。燃料电池堆 12 在阳极输入线 30 上从氢气源 32 接收氢气到堆 12 的阳极侧并且在线 34 上提供阳极排气。电压和电流监测电路 36 电联接到燃料电池,测量并监测堆 12 中燃料电池中的每一个的电压并且测量堆电流密度。

[0062] 本发明提出了用于确定如下情况的方法:穿过燃料电池堆 12 中燃料电池的膜的显著的跨越正在发生并且堆 12 接近其寿命末期。氮跨越效应在低的堆电流密度下更普遍,在此情况下经过堆 12 的阴极流和阳极流显著减少。例如,如果车辆诸如在停止灯处处于怠速状态持续一段时间(在此情况下堆电流密度将是低的),然后一旦灯已经改变车辆操作员就踩下油门(在此情况下堆电流密度迅速上升),燃料电池具有显著氮跨越的堆可导致堆不稳定发生。因此,本发明着眼于确定仅在低的堆电流密度下的膜失效。特别地,本发明的方法确定乘法因子然后将该乘法因子与阈值相比较,所述乘法因子通过当最小电池电压和堆电流密度均小于预定值时用按比例调整的(scaled)最小电池电压因子和按比例调整的电流密度因子相乘来确定。

[0063] 图 2 是示出了用于确定乘法因子的技术的图示的图形,其中横轴上是按比例调整的堆电流密度(A/cm^2),纵轴上是按比例调整的最小电池电压 (mV),所述乘法因子用于确定燃料电池膜跨越。在该实例中,算法仅确定当堆电流密度小于诸如 $0.667A/cm^2$ 的预定堆电流密度时的乘法因子,所述预定堆电流密度在线 38 的左端处被给予零比例因子。堆电流密度沿着线 38 按比例调整至线 38 右端处的 $0.0A/cm^2$ 下的 10 的比例因子。同样地,算法仅确定当最小电池电压小于诸如 667mV 的预定电池电压时的乘法因子,所述预定电池电压在线 40 的底端处被给予零比例因子。电池电压沿着线 40 按比例调整至线 40 顶端处的 0mV 下的 10 的比例因子。

[0064] 通过实验或其它过程,乘法因子被确定,使得它识别阈值,大于该阈值的乘法因子表示电池中的一个或多个正呈现显著的氮跨越。对于正被讨论的实例,该乘法因子是 30,用线 42 来表示并且限定了跨越区域 44 和无跨越区域 46。例如,如果最小电池电压是 0mV 并且堆电流密度是 $0.333A/cm^2$,则最小电池电压比例因子是 10 并且电流密度比例因子是 5,这在点 48 处得出 50 的乘法因子。乘法因子 50 大于阈值乘法因子 30,因此它在跨越区域

44 内,表示存在显著的跨越。

[0065] 如果最小电池电压和堆电流密度两者在行驶周期期间均降至小于最小值,则生成乘法因子,并将该因子存储在存储器中。随着行驶周期的继续,算法监测正被计算的乘法因子,并且如果新计算出的乘法因子大于存储的乘法因子,则算法用新的较大的乘法因子取代存储的乘法因子,使得在那个周期期间产生的最大的乘法因子被存储。否则,算法忽视较小的乘法因子。系统能够基于乘法因子,采用对每个行驶周期的存储的乘法因子的任何适当的分析,给出潜在电池失效的警告。例如,如果针对一定数量的连续行驶周期大于 30 的乘法因子被存储,则系统能够提示潜在的电池失效。

[0066] 图 3 是示出了以如上所述的方式检测燃料电池堆 12 的燃料电池中可能的膜失效的过程的流程图 50。在行驶周期期间,或当燃料电池系统正在运行时,在框 52 处算法扫描寻找最大偏差,该最大偏差是上面所提及的乘法因子。在判断菱形框 54 处,算法确定最小电池电压和堆电流密度是否同时都小于预定值,如上文所讨论的,如果否,则返回到框 52 以继续扫描寻找最大偏差。如果在判断菱形框 54 处最小电池电压和堆电流密度均小于最小值,则在框 56 处,算法将两个值均转换成比例因子并且将它们相乘以获得偏差。然后在判断菱形框 58 处,算法将计算出的偏差与阈值乘法因子相比较,如果该计算出的偏差小于阈值乘法因子,则算法返回到框 52 以继续扫描寻找偏差。如果在判断菱形框 58 处计算出的乘法因子大于阈值乘法因子,则算法在框 60 处使计数器递增,并且存储该乘法因子。算法然后在判断菱形框 62 处确定该计数器是否大于预定计数,如果否,则返回到框 52 以继续扫描,因为偏差的发生不够频繁。如果在判断菱形框 62 处计数的确超过阈值,意味着已经超过最小偏差的多次的发生次数,则算法在框 64 处设置针对膜失效的诊断故障代码。

[0067] 上面的讨论仅公开并描述了本发明的示例性实施例。根据这样的讨论以及根据附图和权利要求,本领域的技术人员将容易地意识到,在不脱离如所附权利要求中所限定的本发明的精神和范围的情况下,能够在其中作出各种改变、修改和变型。

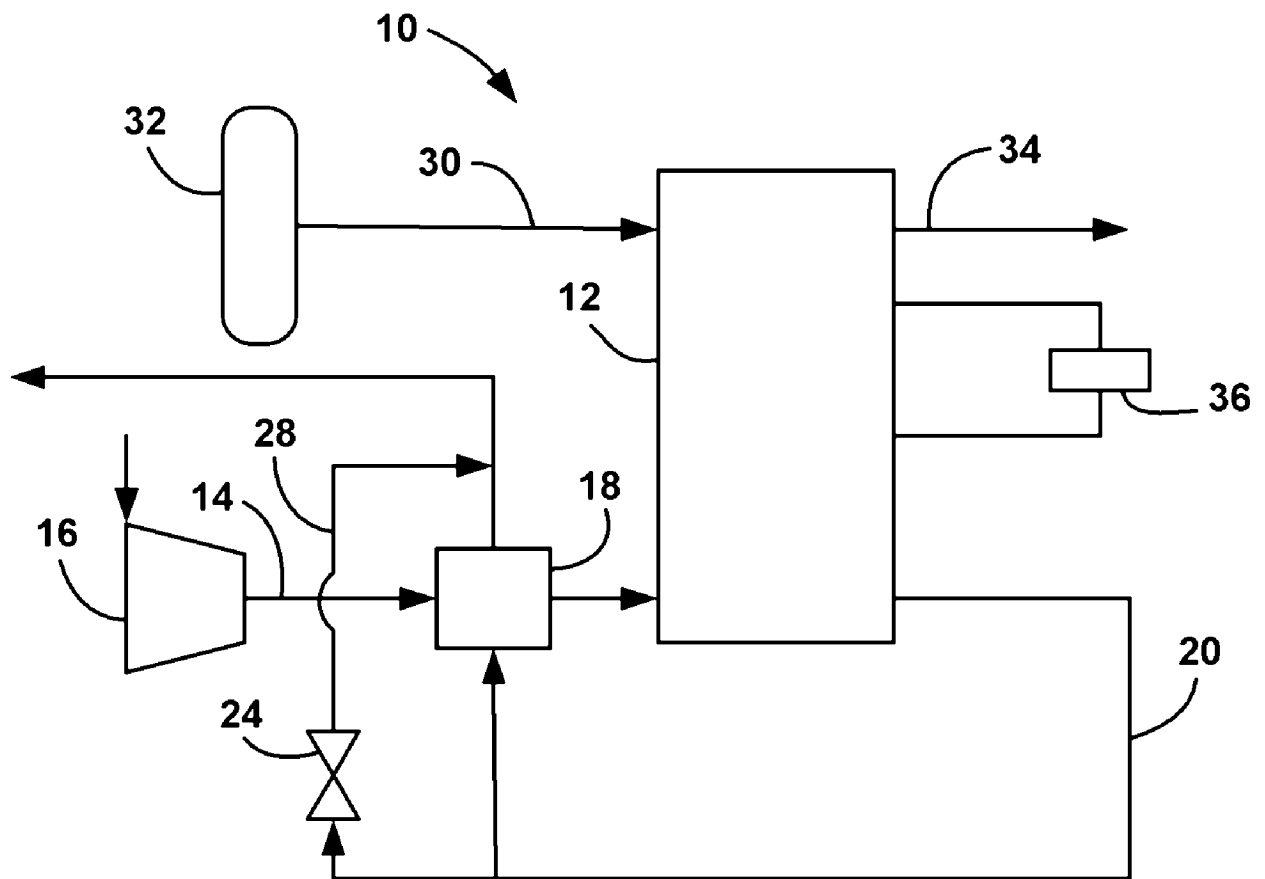


图 1

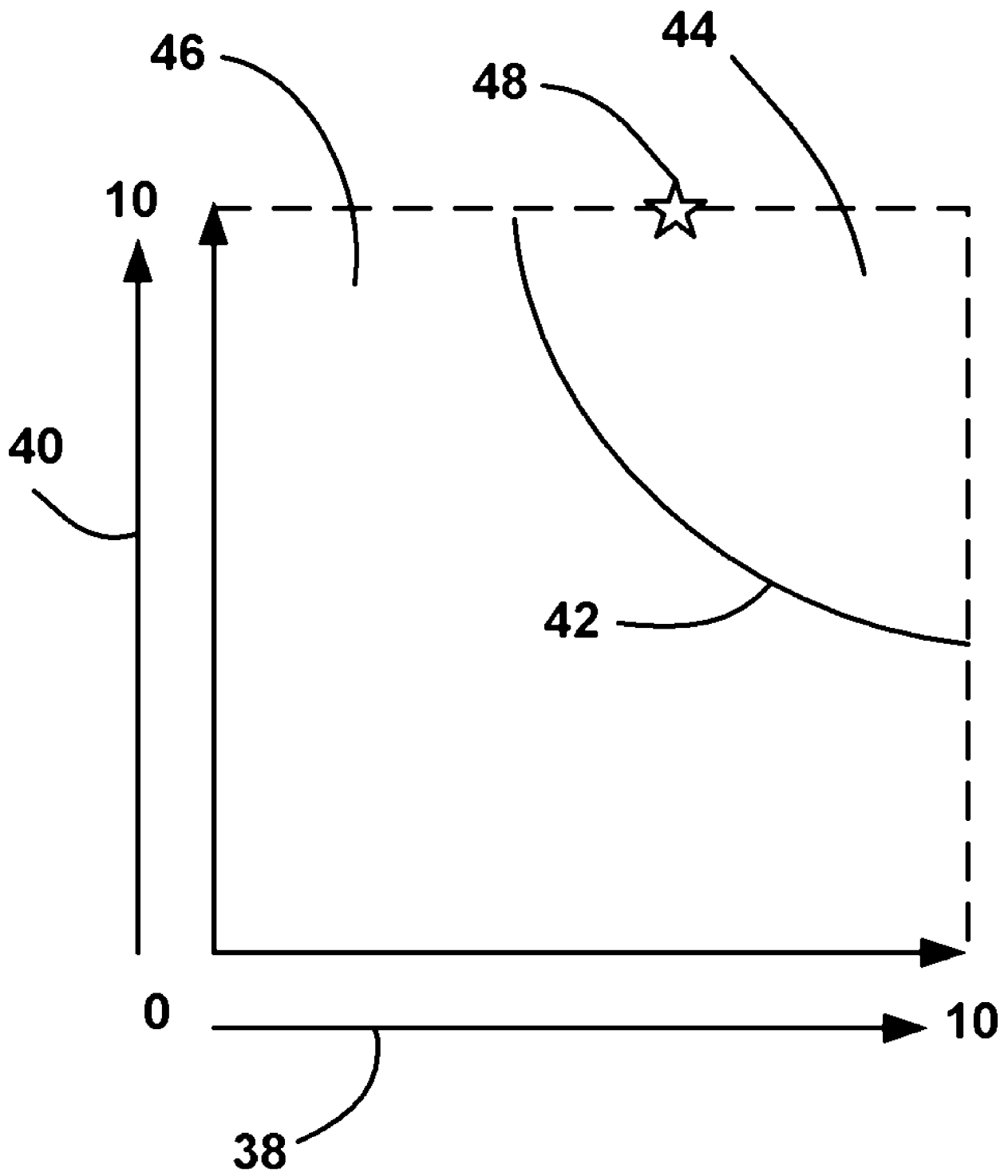


图 2

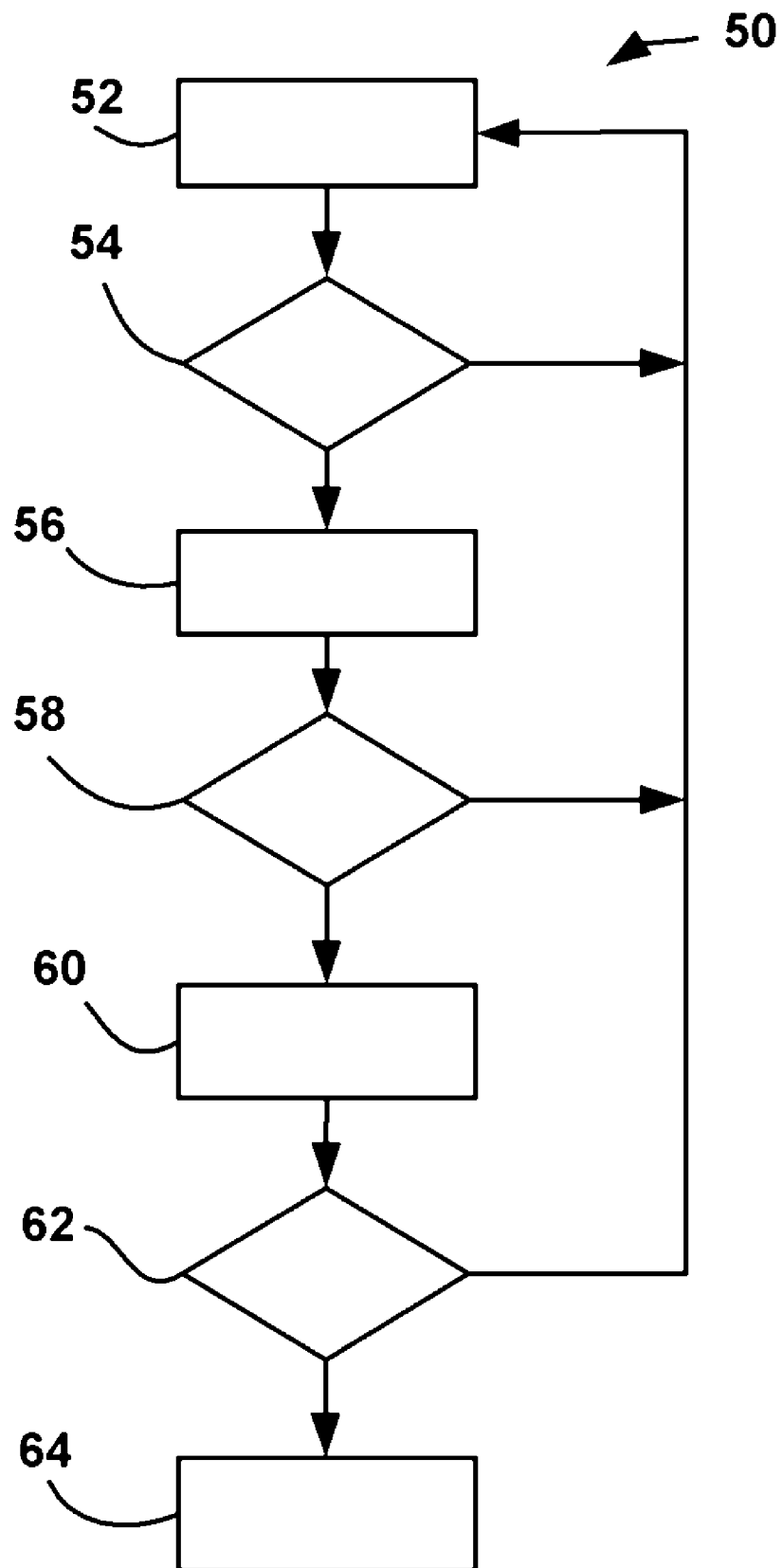


图 3