

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50904/2023
(22) Anmeldetag: 10.11.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2025

(51) Int. Cl.: **H01M 8/0438** (2016.01)
H01M 8/04746 (2016.01)
H01M 8/04664 (2016.01)
F16K 17/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 110364754 A
CN 216354320 U
GB 2062812 A
EP 0133797 A2

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Weingrill Katharina B.Eng.
8152 Stallhofen (AT)
Weingrill David Dipl.-Ing.
8152 Stallhofen (AT)

(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.techn.
8020 Graz (AT)

(54) **Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems für eine Überprüfung eines Überdruckventils**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems (100) für eine Überprüfung eines Überdruckventils (150) in einem laufenden Betrieb, wobei die folgenden Schritte vorgesehen sind:

- Vorgeben eines Prüfdrucks (PD) für einen Gasabschnitt (140) eines Brennstoffzellenstapels (110) des Brennstoffzellensystems (100) in welchem das Überdruckventil (150) angeordnet ist oberhalb eines Öffnungsdrucks (OD) des Überdruckventils (150),
- Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD) in dem Gasabschnitt (140),
- Erfassen einer Druckänderung (DA) in dem Gasabschnitt (140) nach dem Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD),
- Ausgeben eines Prüfsignals (PS) als Ergebnis der Überprüfung auf Basis der erfassten Druckänderung (DA).

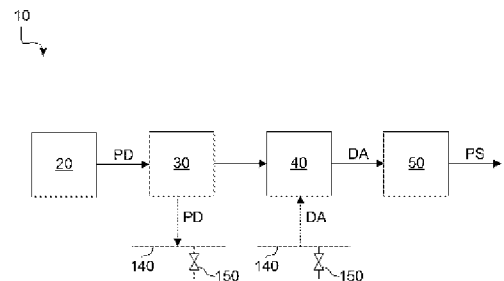


Fig. 1

Beschreibung

KONTROLLVERFAHREN FÜR EINE KONTROLLE EINES BRENNSTOFFZELLENSYSTEMS FÜR EINE ÜBERPRÜFUNG EINES ÜBERDRUCKVENTILS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems für eine Überprüfung eines Überdruckventils in einem laufenden Betrieb, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens sowie eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens.

[0002] Es ist bekannt, dass in Brennstoffsystemen für unterschiedliche Drucksituationen Sicherheitsvorrichtungen, zum Beispiel in Form von Überdruckventilen, vorgesehen sein müssen. Solche Überdruckventile lösen beispielsweise bei Drücken von oberhalb 3 bar aus, um rechtzeitig einen zu hohen Druck innerhalb des Brennstoffzellensystems abzubauen und die einzelnen Komponenten des Brennstoffzellensystem vor mechanischer Beschädigung zu schützen. Solche Überdruckventile liegen naturgemäß hinsichtlich ihres Öffnungsdrucks deutlich oberhalb des normalen Betriebsdrucks eines Brennstoffzellensystems. Der normale Betriebsdruck eines Brennstoffzellensystems kann sich zum Beispiel im Bereich zwischen 1 und 2,5 bar bewegen. Üblicherweise wird dementsprechend das Überdruckventil bestenfalls niemals öffnen, muss jedoch trotzdem über die gesamte Lebensdauer eines Brennstoffzellensystems die Sicherheitsfunktion zuverlässig gewährleisten.

[0003] Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass für eine Sicherheitsüberprüfung das jeweilige Überdruckventil regelmäßig aus dem Brennstoffzellensystem ausgebaut werden muss, um es auf seine Funktionsfähigkeit hin zu überprüfen. Hierfür ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen, beispielsweise alle 6 Monate, das Brennstoffzellensystem herunterzufahren. Im abgeschalteten Zustand muss das Überdruckventil ausgebaut und auf einer Druckprüfvorrichtung installiert werden. Außerhalb des Brennstoffzellensystems kann dann die Überdrucköffnung kontrolliert erzeugt werden, sodass nur ein positiv überprüftes Überdruckventil anschließend wieder im Brennstoffzellensystem verbaut werden kann. Entsprechend besteht ein hoher Aufwand hinsichtlich dieses Überprüfungsvorgangs, insbesondere da das Brennstoffzellensystem für den tatsächlichen Ausbau des Überdruckventils vollständig ausgeschaltet werden muss.

[0004] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Kontrollmöglichkeit für eine Überprüfung eines Überdruckventils in einem Brennstoffzellensystem zur Verfügung zu stellen.

[0005] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Kontrollverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 13 sowie eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0006] Erfindungsgemäß ist ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems für eine Überprüfung eines Überdruckventils vorgesehen. Ein solches Kontrollverfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

- Vorgeben eines Prüfdrucks für einen Gasabschnitt eines Brennstoffzellenstapels des Brennstoffzellensystems, in welchem das Überdruckventil angeordnet ist oberhalb eines Öffnungsdrucks des Überdruckventils,
- Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks in dem Gasabschnitt,
- Erfassen einer Druckänderung in dem Gasabschnitt nach dem Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks,

- Ausgeben eines Prüfsignals als Ergebnis der Überprüfung auf Basis der erfassten Druckänderung.

[0007] Ziel eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ist es, die Überprüfung auf die Funktionsfähigkeit des Überdruckventils, ohne den Ausbau dieses Überdruckventils aus dem Brennstoffzellensystem, zu gewährleisten. Dies kann erfindungsgemäß auch als Inline-Überprüfung oder Inline-Wartung des Überdruckventils bezeichnet werden. Mit anderen Worten wird nun innerhalb des jeweiligen Gasabschnitts, in welchen das Überdruckventil angeordnet ist, der benötigte Prüfdruck angelegt. Dies geschieht jedoch nur kurzzeitig sowie vorzugsweise knapp oberhalb des Öffnungsdrucks, um unerwünschte Beschädigungen durch zu hohe Drücke in diesem Gasabschnitt mit hoher Sicherheit zu vermeiden.

[0008] Ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren kann dabei seine Schritte in ein normales Betriebskontrollverfahren des Brennstoffzellensystems integrieren. So wird beim Betrieb eines Brennstoffzellensystems eine Vielzahl von Drücken überwacht. Diese können allgemein als Systemdruck, aber auch als Gasdrücke in den einzelnen Gasabschnitten, bezeichnet werden. So sind die wesentlichen Drücke insbesondere der Brennstoffdruck auf der Brennstoffseite eines Brennstoffzellenstapels wie auch der Zuluftdruck auf der Zuluftseite des Brennstoffzellenstapels. Erfindungsgemäß wird nun zumindest für die Durchführung der Überprüfung ein Prüfdruck vorgegeben, welcher zumindest einen dieser genannten Gasdrücke, insbesondere den Brennstoffdruck, da dort üblicherweise das Überdruckventil angeordnet ist, überschreitet. Der Prüfdruck ersetzt also den normalen Soll-Druck für den Brennstoffdruck für die Dauer der Überprüfung des Überdruckventils.

[0009] Je nachdem wie die tatsächliche konstruktive Ausgestaltung des Brennstoffzellensystems ausgebildet ist, kann nun in unterschiedlicher Weise der vorgegebene Prüfdruck auch tatsächlich erzeugt werden. Ist das Überdruckventil in einem Gasabschnitt angeordnet, welcher aus einem größeren Gastank, insbesondere einem Brennstofftank, gespeichert wird, so kann in sehr einfacher und dynamischer Weise durch ein weiteres Öffnen des Zufuhrventils in diesen Gasabschnitt der Druck deutlich schneller erhöht werden. Auf diese Weise wird es also möglich, von den normalen aktuellen Betriebsdruck einen Anstieg auf den gewünschten Prüfdruck zu erzeugen.

[0010] Sobald der Prüfdruck im Gasabschnitt anliegt, übersteigt der entsprechende Druck in diesem Gasabschnitt nun den Öffnungsdruck des Überdruckventils. Ein solcher Öffnungsdruck kann beispielsweise bei 3 bar liegen. Wird also als Prüfdruck nun eine Vorgabe von zum Beispiel 3,5 bar gemacht, kann durch das weitere Öffnen eines Zufuhrventils von einer Brennstoffzufuhr nun der Prüfdruck in diesem Gasabschnitt auf 3,5 bar ansteigen. Beim Überschreiten des Öffnungsdrucks wird nun ein funktionsfähiges Überdruckventil diesem Druck nachgeben und entsprechend öffnen.

[0011] Die Öffnung des Überdruckventils beim Überschreiten des Öffnungsdrucks führt entsprechend zu einer Druckänderung, insbesondere durch das Öffnen des Überdruckventils zu einem Abbau des Überdrucks. Mit anderen Worten wird entweder direkt nach Erreichen des Prüfdrucks, von zum Beispiel 3,5 bar, oder sogar direkt nach dem Überschreiten des Öffnungsdrucks, beispielsweise von 3 bar, der Gasdruck im jeweiligen Gasabschnitt wieder abnehmen und durch den Austritt des Überdruckventils ein weiterer Anstieg des Gasdrucks vermieden. Die erzwungene Druckänderung, welche das Resultat des Druckanstiegs über den Öffnungsdruck und des korrekten Reagierens des Überdruckventils ist, gibt entsprechend eine Aussage über die Funktionsfähigkeit des Überdruckventils.

[0012] Insbesondere müssen dabei die zwei wesentlichen Situationen hinsichtlich der Funktionsfähigkeit des Überdruckventils unterschieden werden. Findet keine oder nur eine sehr geringe Druckänderung in Form einer Druckreduktion in dem Gasabschnitt statt, hat das Überdruckventil mit hoher Wahrscheinlichkeit auch nicht geöffnet, da der erzwungene Überdruck in Form des Prüfdrucks nicht in der gewünschten Weise abgebaut wird. In einem solchen Fall wird als Prüfsignal vorzugsweise ein negatives Prüfsignal als Ergebnis der Überprüfung ausgegeben, welches als dysfunktionales Überdruckventil interpretiert werden kann. Wird eine Druckänderung erfasst, welche eine ausreichende Druckreduktion zeigt, kann auf ein funktionsfähiges Überdruckventil ge-

geschlossen werden, sodass entsprechend ein positives Prüfsignal als Ergebnis eine korrekte Funktionsfähigkeit des Überdruckventils ausgeben kann.

[0013] Wie bereits in der voranstehenden Erläuterung ersichtlich ist, reicht es für die Überprüfung aus, wenn eine rein qualitative Kontrolle und Überprüfung stattfinden. So ist eine Unterscheidung ausreichend, ob das Überdruckventil öffnet oder nicht. Selbstverständlich kann ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren jedoch auch dahingehend weitergebildet werden, dass auch eine quantitative Öffnung, hinsichtlich Öffnungsgeschwindigkeit, Druckreduktionsgeschwindigkeit oder ähnlicher Parameter möglich wird.

[0014] Der erfindungsgemäße wesentliche Vorteil ist es, dass dieses Kontrollverfahren inline, also ohne den Ausbau des Überdruckventils aus dem Brennstoffzellensystem, stattfinden kann. Mit anderen Worten muss das Brennstoffzellensystem auch nicht vollständig heruntergefahren werden, da ein solcher Ausbau des Überdruckventils nun nicht mehr notwendig ist. Vielmehr wird das Kontrollverfahren im laufenden Betrieb durchgeführt, beispielsweise in einer dafür geeigneten und ausgewählten Betriebssituation des Brennstoffzellensystems. Nur für den Fall, dass ein negatives Prüfsignal, also ein Hinweis auf ein nicht funktionierendes Überdruckventil, gegeben ist, kann eine entsprechende Reaktion veranlasst werden. Jedoch ist auch dann nicht ein sofortiges Notabschalten des Brennstoffzellensystems notwendig, da ein dysfunktionales Überdruckventil zwar einen negativen Sicherheitsaspekt darstellt, jedoch nicht direkt zu einer Instabilität im Betrieb des Brennstoffzellensystems führt. Vielmehr kann ein negatives Prüfsignal ausgegeben werden, um möglichst zügig, beispielsweise im Rahmen des nächsten geplanten Abfahrprozesses des Brennstoffzellensystems einen Austausch und eine Überprüfung des Überdruckventils durchzuführen.

[0015] Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren vor und/oder während der Erzeugung des Prüfdrucks ein Gegen-Prüfdruck in einem weiteren Gasabschnitt und/oder einem Temperierabschnitt des Brennstoffzellensystems erzeugt wird. Je nach aktueller Drucksituation kann der Prüfdruck sich deutlich von anderen Drücken innerhalb anderer Gasabschnitte oder Temperierabschnitte unterscheiden. Insbesondere, wenn der Prüfdruck aufseiten eines Brennstoffdrucks angelegt werden soll, korreliert dieser Brennstoffdruck mit einem entsprechenden Zuluftdruck auf der anderen Seite des Brennstoffzellenstapels, welche innerhalb der einzelnen Brennstoffzellen nur durch eine Membran voneinander getrennt sind. Ein zu hoher Druckunterschied zwischen dem Brennstoffdruck und dem Zuluftdruck könnte hier zu einer mechanischen Beeinträchtigung oder sogar zu einer irreversiblen Schädigung dieser Membran führen. Um solche Beeinträchtigungen und/oder Schädigungen zu vermeiden oder zumindest deren Auftretenswahrscheinlichkeit zu reduzieren, kann bei dieser Ausführungsform gezielt ein Gegen-Prüfdruck erzeugt werden, um diese Druckdifferenz zu reduzieren oder sogar vollständig auszugleichen. Um dies sicherzustellen, wird der Gegendruck vor und/oder während dem Erzeugen des Prüfdrucks sozusagen mitgeführt oder vorbereitet, um auch temporär und für kurze Zeiteinheiten eine hohe Druckdifferenz an diesen Zellmembranen zu verhindern. Wird für einen Zuluftdruck beispielsweise ein Kompressor verwendet, welcher Umluft als Zuluft in das Brennstoffzellensystem ansaugt, kann durch das Erhöhen der Kompressordrehzahl entsprechend auch ein höherer Gegendruck auf der Zuluftseite erzeugt werden. Je nach Temperiermittel kann auch ein Temperierabschnitt, in welchem das Temperierfluid strömt, um die einzelnen Abschnitte des Brennstoffzellensystems zu temperieren, in diesen Gegen-Prüfdruck mit integriert werden. Insbesondere dann, wenn hier eine Druckkorrelation zum Prüfdruck und insbesondere zum Brennstoffdruck besteht, kann auch das Erhöhen des Gegen-Prüfdrucks eine reduzierte mechanische Beeinträchtigung des Temperierabschnitts sicherstellen.

[0016] Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Gegen-Prüfdruck einen Maximaldruck des weiteren Gasabschnitts und/oder des Temperierabschnitts entspricht. Darunter ist zu verstehen, dass für den Gegen-Prüfdruck im jeweiligen Abschnitt ein Maximaldruck als Obergrenze vorgegeben ist. Soll beispielsweise der Gegendruck in Form eines Zuluftdrucks angelegt werden, so kann sichergestellt sein, dass dieser dem Maximaldruck in diesem Zuluftabschnitt des Brennstoffzellenstapels entspricht oder diesen zumindest nicht übersteigt. Mit anderen Worten wird es auf diese Weise möglich, den maximal möglichen

Gegen-Prüfdruck zu erzeugen ohne eine Beeinträchtigung oder sogar Beschädigung des jeweiligen Gasabschnitts in Kauf nehmen zu müssen.

[0017] Es kann darüber hinaus Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren vor dem Erzeugen des Prüfdrucks der aktuelle Systemdruck in wenigstens einem Gasabschnitt erfasst wird und zumindest die Erzeugung des Prüfdrucks in Abhängigkeit des erfassten aktuellen Systemdrucks erfolgt. Der Systemdruck kann dabei ein einzelner Wert sein oder sich auf den Wert in einem jeweiligen Gasabschnitt, also zum Beispiel dem Brennstoffdruck, dem Zuluftdruck und/oder einem Temperierdruck, beziehen. So kann sichergestellt sein, dass je nach aktueller Systemsituation aus Sicht des jeweiligen Gasdrucks, das Kontrollverfahren durchgeführt, unterdrückt oder auf einen späteren Zeitpunkt verschoben wird. Auch kann sichergestellt werden, dass die möglicherweise notwendigen Gegen-Prüfdrücke in der gewünschten Weise erzeugt werden. Auch kann dies als Trigger tatsächlich das Kontrollverfahren auslösen, wenn die aktuelle Drucksituation besonders vorteilhaft und passend für die Durchführung der gewünschten Erhöhung auf den Prüfdruck ist. Eine falsche oder unpassende Durchführung des Kontrollverfahrens kann auf diese Weise mit hoher Wirksamkeit vermieden werden.

[0018] Ebenfalls ist es von Vorteil, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren vor dem Erzeugen des Prüfdrucks die aktuelle Systemleistung des Brennstoffzellensystems erfasst wird und zumindest die Erzeugung des Prüfdrucks in Abhängigkeit der erfassten aktuellen Systemleistung erfolgt. Darunter ist zu verstehen, dass unabhängig von der Drucksituation das Brennstoffzellensystem unterschiedlichen Lastanforderungen unterliegt. Beispielsweise kann beim Einsatz in einem mobilen Endgerät, also einem Fahrzeug oder Ähnlichem, eine stark variierende Lastanforderung gegeben sein. So kann es vorteilhaft sein, wenn das erfindungsgemäße Kontrollverfahren nur dann vorgenommen wird, wenn aktuell keine Hochlast- oder Spitzenlastsituation vorliegt. Insbesondere können Teillastbereiche oder sogar sogenannte Leerlaufbetriebsituationen des Brennstoffzellensystems gezielt genutzt werden, um ein erfindungsgemäßes Überprüfen mit dem Kontrollverfahren durchzuführen. Mit anderen Worten wird hier unabhängig oder in Kombination mit einem zeitlichen Trigger nun die Brennstoffzellensystemsituation genutzt, um das erfindungsgemäße Kontrollverfahren zu starten. Zusätzlich oder alternativ ist es auch möglich, dass in einer solchen Betriebssituation eines Fahrzeugs die Systemleistung des Brennstoffzellensystems konstant gehalten wird, wobei die benötigte zusätzliche Leistung aus einer Batterievorrichtung bezogen wird. Insbesondere erfolgt für diese Variante eine vorherige Überprüfung des Ladezustandes der Batterievorrichtung.

[0019] Alternativ oder zusätzlich kann es auch Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren ein positives Prüfsignal ausgegeben wird, wenn die erfasste Druckänderung einen Grenzwert überschreitet. Die erfasste Druckänderung ist dabei insbesondere eine Druckreduktion, welche einen Grenzwert überschreitet, also beispielsweise absolut 300 mbar Reduktion mit sich bringt. Neben der Ausbildung als absoluter Grenzwert kann auch ein relativer Grenzwert, also beispielsweise ein Reduzieren um einen Prozentwert vom angelegten Prüfdruck, angelegt werden. Unter einem positiven Prüfsignal ist dabei eine Ausgabe zu verstehen, welche ein positives Überprüfungsergebnis des Überdruckventils darstellt. Mit anderen Worten wird ein positives Prüfsignal dahingehend interpretiert, dass die Funktionsfähigkeit des Überdruckventils in seiner Sicherheitsfunktion bestätigt worden ist.

[0020] Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren nach dem Ausgeben des Prüfsignals ein Prüfzähler zurückgesetzt wird. Ein solcher Prüfzähler kann dazu dienen, dass ein zeitliches Triggern des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens erfolgt. Beispielsweise kann der Prüfzähler die Gesamteinsatzdauer, die Betriebsstunden oder aber Hochdruckbetriebsstunden zählen. Eine solche Triggerung mittels Prüfzählers kann kombiniert werden mit den voranstehenden Triggermöglichkeiten auf Basis der Systemleistung und/oder der Systemdrücke.

[0021] Auch Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren vor und/oder während dem Erzeugen des Prüfdrucks in einem weiteren Gasabschnitt des Brennstoffzellensystems ein Gas-Massenstrom erhöht wird. Durch das Erhöhen des Prüfdrucks,

beispielsweise auf der Seite des Brennstoffdrucks, wird entsprechend ein erhöhter Gasdruck aufseiten des Zuluftdrucks gewünscht, um vorteilhafterweise den Differenzdruck zu erhöhen. Dieser erhöhte Druck auf der Zuluftseite führt jedoch in einem ersten Schritt dazu, dass auch ein erhöhter Gasmassenstrom an Zuluft über das Brennstoffzellensystem geführt wird. Dies kann jedoch zu unerwünschter Austrocknung führen, welche wiederum zu einer temporären oder sogar irreversiblen Schädigung der Membranen in den Brennstoffzellen führen kann. Um solche weiteren chemischen und/oder physikalischen Schädigungsmechanismen zu reduzieren, kann nun unter Aufrechterhaltung des Drucks ein Bypass genutzt werden, um mit dem zumindest einen Teil dieses Gasmassenstroms an Zuluft nicht über den Brennstoffzellenstapel, sondern über einen Bypass am Brennstoffzellenstapel vorbeizuführen. Dies erlaubt es, den Druck aufrechtzuerhalten, jedoch den Massenstrom durch den Brennstoffzellenstapel selbst zu reduzieren. Auch wird auf diese Weise im Abgas vorhandener Brennstoff, zum Beispiel Wasserstoff, durch die Luft aus dem Bypass verdünnt. So ist es möglich die Konzentration an Brennstoff im Abgas auf zum Beispiel weniger als 8% zu reduzieren. Es wird also weniger Gas bzw. Luft durch den Brennstoffzellenstapel geschickt, damit entsprechend ein Gas-Massenstrom bevorzugt über den Gasabschnitt in Richtung Auslass zu führen, damit ein vorhandener Wasserstoff im Abgas vor einer Abgabe an die Umgebung entsprechend ausreichend mit Luft verdünnt wird.

[0022] Weiter von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Prüfdruck um einen vorgegebenen Wert größer als der Öffnungsdruck ist. Mit anderen Worten kann hier zum Beispiel eine absolute Druckdifferenz gegeben werden, um sicherzustellen, dass auch bei Schwankungsbreiten der Prüfdruck ausreichend hoch ist, um ein sicheres Auslösen eines funktionstüchtigen Überdruckventils zu erzwingen. Auch eine Relativvorgabe, zum Beispiel ein Überschreiten um mindestens 5% oder 10%, ist hier grundsätzlich denkbar. Wesentlich ist noch, dass der Prüfdruck vorzugsweise mit seinem vorgegebenen Wert unterhalb eines Schädigungsdrucks vorgegeben wird, bei welchem eine reversible oder irreversible mechanische Druckbeschädigung von Komponenten in dem jeweiligen Gasabschnitt zu erwarten wäre.

[0023] Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren bei einer erfassten Druckänderung unterhalb eines Grenzwerts ein negatives Prüfsignal ausgegeben wird und insbesondere ein aktiver Druckabbau in dem Gasabschnitt durchgeführt wird. Eine erfasste Druckänderung mit zu geringer Druckreduktion lässt, wie bereits erläutert, auf ein defektes oder teilweise defektes Überdruckventil schließen. Dies führt also dazu, dass sich der Druck nicht in der gewünschten Weise reduziert, sondern vielmehr im Bereich des angelegten und erzeugten Prüfdrucks verbleibt. Neben dem Ausgeben eines negativen Prüfsignals, mit der Interpretation eines zumindest teilweise dysfunktionalen Überdruckventils, soll nun bei dieser Ausführungsform trotzdem der erhöhte Prüfdruck wieder möglichst schnell abgebaut werden. Da die Sicherheitsfunktion des Überdruckventils diesen Druckabbau nicht ermöglicht, kann auf diese Weise insbesondere an anderen Stellen ein aktiver Druckabbau erfolgen. So können beispielsweise weitere Ventile, zum Beispiel Purgeventile oder Drainventile in diesem Gasabschnitt verwendet werden, um durch Öffnen den erhöhten Prüfdruck wieder auf den gewünschten aktuellen Systemdruck, zum Beispiel den Brennstoffdruck in dem jeweiligen Gasabschnitt, zu reduzieren. Ein zu hohes Druckniveau wird damit trotz des defekten Überdruckventils für eine zu lange Anlegezeit vermieden.

[0024] Es kann darüber hinaus Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Vorgabe des Prüfdrucks wenigstens einem Triggersignal folgt. Ein solches Triggersignal kann rein zeitlich durch die Anzahl der abgelegten Betriebsstunden vorgegeben sein. Jedoch kann dieses Triggersignal auch kombiniert oder alternativ auf die Betriebssituation ausgelegt sein, sodass bei bestimmten Betriebsdrücken, bestimmten Betriebsleistungen oder anderen Betriebssituationen das Kontrollverfahren aktiv getriggert und durchgeführt wird. Nicht zuletzt kann auch eine rein manuelle Eingabe durch das Bedienpersonal ein solches Triggersignal darstellen.

[0025] Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren vor Erzeugen des Prüfdrucks eine Leckagewartezeit abgewartet wird und eine Druckänderung in dieser Leckagewartezeit erfasst wird. Eine solche Leckagewartezeit dient dazu, sicherzustellen und zu

überprüfen, ob noch vor Erhöhung auf einen Prüfdruck oberhalb des Öffnungsdrucks möglicherweise eine Druckänderung erfasst werden kann. Da zu diesem Zeitpunkt das Überdruckventil noch nicht anschlägt und öffnet, müsste eine solche erfasste Druckänderung nun von einer anderen Druckreduktionsquelle herrühren. Dies lässt auf eine Leckage schließen, welche möglicherweise bei einem verstärkten Erhöhen ohne Leckagewartezeit nicht als solche erkannt werden würde. So kann eine solche Weiterbildung zusätzliche Vorteile hinsichtlich der Sicherheit mit sich bringen.

[0026] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens auszuführen. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

[0027] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Kontrollvorrichtung für eine Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens. Diese weist ein Vorgabemodul für ein Vorgeben eines Prüfdrucks für einen Gasabschnitt eines Brennstoffzellenstapels des Brennstoffzellensystems, in welchem das Überdruckventil angeordnet ist, oberhalb eines Öffnungsdrucks des Überdruckventils auf. Weiter ist ein Erzeugungsmodul vorgesehen für ein Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks in dem Gasabschnitt. Mit Hilfe eines Erfassungsmoduls erfolgt ein Erfassen einer Druckänderung in dem Gasabschnitt nach dem Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks. Abschließend ist ein Ausgabemodul vorgesehen für ein Ausgeben eines Prüfsignals als Ergebnis der Überprüfung auf Basis der erfassten Druckänderung. Das Vorgabemodul, das Erzeugungsmodul, das Erfassungsmodul und/oder das Ausgabemodul sind für eine Ausführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ausgebildet. Damit bringt eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

[0028] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

[0029] Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung,

[0030] Fig. 2 ein möglicher Druckverlauf,

[0031] Fig. 3 ein weiterer möglicher Druckverlauf,

[0032] Fig. 4 ein weiterer möglicher Druckverlauf und

[0033] Fig. 5 eine Ausführungsform eines Brennstoffzellensystems.

[0034] In Figur 1 ist schematisch der Ablauf eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens dargestellt. Die Kontrollvorrichtung 10 hat ein Vorgabemodul 20, welches zum Start eines Kontrollverfahrens einen Prüfdruck PD vorgibt. Dieser wird nun mit Hilfe des Erzeugungsmoduls 30 zur Erzeugung an einem Gasabschnitt 140 des Brennstoffzellensystems 100 weitergegeben, in welchem das Überdruckventil 150 angeordnet ist. Sobald das Erzeugungsmodul 30 den Prüfdruck PD erzeugt hat, wird überwacht, wie sich der Druck innerhalb des Gasabschnitts 140 entwickelt und insbesondere eine Druckänderung DA vom Erfassungsmodul 40 erfasst wird. Diese erfasste Druckänderung DA wird weitergegeben an das Ausgabemodul 50 und auf deren Basis das Prüfsignal PS ausgegeben.

[0035] Die Figur 2 zeigt schematisch, wie ein Druckverlauf hier bei einem Brennstoffdruck BD ausgebildet sein kann. Bei der Darstellung der Figur 2 handelt es sich um den Druckverlauf bei einem funktionsfähigen Überdruckventil 150. Vor dem Zeitpunkt T1 befindet sich der Brennstoffdruck BD auf einem konstanten und normalen Betriebsniveau, welcher der aktuellen Kontrollsituation entsprechend dem aktuellen Sollbrennstoffdruck BD entspricht. Zum Zeitpunkt T1 startet das erfindungsgemäße Verfahren damit, dass ein Prüfdruck PD vorgegeben wird. Dieser liegt hier oberhalb eines Öffnungsdrucks OD über welchem das Überdruckventil 150 bei voller Funktionsfähigkeit öffnen sollte. Bei Erreichen des Öffnungsdrucks OD öffnet das Überdruckventil 150

und der Prüfdruck PD wird durch den Druckausgleich durch das Überdruckventil 150 bei korrekter Funktionsweise nie erreicht. Über eine Rampe wird nun beispielsweise durch ein erweitertes Öffnen eines Zufuhrventils für Brennstoff der Brennstoffdruck BD solange erhöht, bis er zum Zeitpunkt T2 den Öffnungsdruck OD überschritten hat und den Prüfdruck PD erreicht. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wird ein funktionsfähiges Überdruckventil 150 nun auslösen und öffnen, sodass der angelegte Überdruck in Form des Prüfdrucks PD wieder zumindest teilweise abgebaut wird. Zum Zeitpunkt T3 wird dieser Druckabbau DA so weit erfolgt sein, dass sich ein Gleichgewicht durch den erhöhten angelegten Prüfdruck PD und dem Druckverlust am Überdruckventil 150 in seiner Offenstellung einstellt. Zu diesem Zeitpunkt T3 pendelt sich also wieder ein konstanter, aber immer noch erhöhter, Brennstoffdruck BD ein, wobei die Differenz als Druckänderung DA erfasst wird. Zum Zeitpunkt T4 wird die Überprüfung des Kontrollverfahrens beendet und der Betriebsdruck BD kehrt zu seinem ursprünglichen Normalwert zurück. Die Figur 2 zeigte eine Situation, bei welcher das Überdruckventil 150 öffnet und entsprechend eine ausreichende Reduktion als Druckänderung DA wahrgenommen wird. Eine Kontrollvorrichtung 10 gemäß der Figur 1 würde entsprechend der Figur 2 daher auslösen und ein positives Prüfsignal PS ausgeben, also die Anzeige, dass die Funktionsfähigkeit des Überdruckventils 150 gegeben ist.

[0036] Es kann vorgesehen sein, dass der Öffnungsdruck OD eher ein Bereich als eine scharfe Linie ist. In diesem Bereich muss das Überdruckventil 150 öffnen, wenn dieses entsprechend richtig und fehlerlos funktioniert. Wird der Prüfdruck PD erreicht, heißt das, dass das Überdruckventil 150 nicht ordnungsgemäß funktioniert und nicht geöffnet hat.

[0037] Die Figur 3 zeigt die Ausführungsform der Figur 2 mit einem defekten Überdruckventil 150. In gleicher Weise erfolgt ein Vorgehen eines erhöhten Prüfdrucks PD zum Zeitpunkt T1 und ein Erzeugen des erhöhten Prüfdrucks PD bis zum Erreichen zum Zeitpunkt T2. Da jedoch das Überdruckventil 150 bei diesem Beispiel defekt ist, kann es nicht öffnen und der Prüfdruck PD bleibt hoch über den Zeitpunkt T3 hinaus bis zum Zeitpunkt T4. Mit anderen Worten wird hier keine oder nur eine sehr geringe nicht näherdargestellte Druckänderung DA wahrgenommen, was hinsichtlich der Überprüfung zur Ausgabe eines negativen Prüfsignals PS führt. Um nun sicherzustellen, dass man trotzdem wieder zum gewünschten Brennstoffdruck BD nach dem Zeitpunkt T4 zurück gelangt, können zum Beispiel weitere Ventilvorrichtungen wie Purgeventile oder Drainventile verwendet werden, um trotz des defekten Überdruckventils 150 den Überdruck vom Prüfdruck PD wieder auf den gewünschten Brennstoffdruck BD zu reduzieren.

[0038] Die Figur 4 zeigt eine Weiterbildung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens. Hier sind noch ein Zuluftdruck ZD in einem weiteren Gasabschnitt 140 sowie ein Temperierdruck TD in einem Temperierabschnitt 160 berücksichtigt. Beide Drücke stehen zwar nicht in fluidkommunizierendem Austausch, jedoch im Druckzusammenhang mit dem Brennstoffdruck BD. Um sicherzustellen, dass zu hohe Differenzdrücke vermieden werden, wird nun hier vor dem Anlegen durch das Erzeugen des erhöhten Prüfdrucks PD die Druckdifferenz minimiert, indem die weiteren Gasdrücke in Form des Zuluftdrucks ZD und des Temperierdrucks TD ebenfalls erhöht werden. Beide zusätzlichen Drücke in Form des Zuluftdrucks ZD und des Temperierdrucks TD überschreiten dabei jedoch nicht den Maximaldruck MD, um eine Schädigung auf dieser Gasabschnittseite zu verhindern. Erst wenn diese Vorbereitung stattgefunden hat, startet das Erzeugen des Prüfdrucks PD mit Hilfe des Brennstoffdrucks BD. Der weitere Ablauf ist wiederum identisch zur Figur 2, wobei jedoch die Erhöhungen des Zuluftdrucks ZD und des Temperierdrucks TD zum Zeitpunkt T4 ebenfalls wieder zurückgenommen werden.

[0039] In der Figur 5 ist schematisch ein Brennstoffzellensystem 100 dargestellt, bei welchem ein solches Kontrollverfahren eingesetzt werden kann. Im Anodenabschnitt 120 kann über ein Zufuhrventil von einer Druckgaslagerung Brennstoff zugeführt werden und hier ist bei dieser Darstellung auch ein Überdruckventil 150 angeordnet. Für ein Erhöhen zum Prüfdruck muss nur das dargestellte Ventil in dem Gasabschnitt 140 zum Anodenabschnitt 120 weiter geöffnet werden. Um gemäß der Figur 5 auch auf der Seite des Kathodenabschnitts 130 eine Erhöhung des Zufuhrdrucks ZD zu gewährleisten, kann der hier jetzt schematisch dargestellte Verdichter für diesen Gasabschnitt 140 ebenfalls eine Druckerhöhung mit sich bringen. Nicht näher dargestellt ist die Möglichkeit auf der Seite des Kathodenabschnitts 130 einen Bypass einzusetzen, um trotz

der Druckerhöhung den Volumenstrom über den Brennstoffzellenstapel 110 und dort über den Kathodenabschnitt 130 nicht unerwünscht zu erhöhen und entsprechend Austrocknung zu verhindern. Ein ähnlicher Kompressor wie in diesem Zufuhrabschnitt des Gasabschnitts 140 für den Kathodenabschnitt 130 kann auch im Temperierabschnitt 160 verwendet werden. Die Gasabschnitte 140 können je nachdem zu welcher Seite des Brennstoffzellenstapels 110 sie führen auch als Anodenzufuhrabschnitt, Anodenabfuhrabschnitt, Kathodenzufuhrabschnitt und Kathodenabfuhrabschnitt bezeichnet werden.

[0040] Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Kontrollvorrichtung
- 20 Vorgabemodul
- 30 Erzeugungsmodul
- 40 Erfassungsmodul
- 50 Ausgabemodul

- 100 Brennstoffzellensystem
- 110 Brennstoffzellenstapel
- 120 Anodenabschnitt
- 130 Kathodenabschnitt
- 140 Gasabschnitt
- 150 Überdruckvent
- 160 Temperierabschnitt

- PD Prüfdruck
- OD Öffnungsdruck
- GPD Gegen-Prüfdruck
- MD Maximaldruck
- BD Brennstoffdruck
- ZD Zuluftdruck
- TD Temperierdruck
- DA Druckänderung
- PS Prüfsignal

- T1 Zeitpunkt 1
- T2 Zeitpunkt 2
- T3 Zeitpunkt 3
- T4 Zeitpunkt 4

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems (100) für eine Überprüfung eines Überdruckventils (150) in einem laufenden Betrieb, **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
 - Vorgeben eines Prüfdrucks (PD) für einen Gasabschnitt (140) eines Brennstoffzellenstapels (110) des Brennstoffzellensystems (100) in welchem das Überdruckventil (150) angeordnet ist oberhalb eines Öffnungsdrucks (OD) des Überdruckventils (150),
 - Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD) in dem Gasabschnitt (140),
 - Erfassen einer Druckänderung (DA) in dem Gasabschnitt (140) nach dem Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD),
 - Ausgeben eines Prüfsignals (PS) als Ergebnis der Überprüfung auf Basis der erfassten Druckänderung (DA).
2. Kontrollverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor und/oder während dem Erzeugen des Prüfdrucks (PD) ein Gegen-Prüfdruck (GPD) in einem weiteren Gasabschnitt (140) und/oder einem Temperierabschnitt (160) des Brennstoffzellensystems (100) erzeugt wird.
3. Kontrollverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gegen-Prüfdruck (GPD) einem Maximaldruck (MD) des weiteren Gasabschnitts (140) und/oder des Temperierabschnitts (160) entspricht.
4. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Erzeugen des Prüfdrucks (PD) der aktuelle Systemdruck in wenigstens einem Gasabschnitt (140) erfasst wird und zumindest die Erzeugung des Prüfdrucks (PD) in Abhängigkeit des erfassten aktuellen Systemdrucks erfolgt.
5. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein positives Prüfsignal (PS) ausgegeben wird, wenn die erfasste Druckänderung (DA) einen Grenzwert überschreitet.
6. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Ausgeben des Prüfsignals (PS) ein Prüfzähler zurückgesetzt wird.
7. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor und/oder während dem Erzeugen des Prüfdrucks (PD) in einem weiteren Gasabschnitt (140) des Brennstoffzellensystems (100) ein Gas-Massenstrom erhöht wird.
8. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfdruck (PD) um einen vorgegebenen Wert größer als der Öffnungsdruck (OD) ist.
9. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer erfassten Druckänderung (DA) unterhalb eines Grenzwertes ein negatives Prüfsignal (PS) ausgegeben wird und insbesondere ein aktiver Druckabbau in dem Gasabschnitt (140) durchgeführt wird.
10. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorgabe des Prüfdrucks (PD) wenigstens einem Triggersignal folgt.
11. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor Erzeugen des Prüfdrucks (PD) eine Leckagewartezeit abgewartet wird und eine Druckänderung (DA) in dieser Leckagewartezeit erfasst wird.
12. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.
13. Kontrollvorrichtung (10) für eine Durchführung eines Kontrollverfahrens für eine Kontrolle eines Brennstoffzellensystems (100) für eine Überprüfung eines Überdruckventils (150), **ge-**

kennzeichnet durch ein Vorgabemodul (20) für ein Vorgeben eines Prüfdrucks (PD) für einen Gasabschnitt (140) eines Brennstoffzellenstapels (110) des Brennstoffzellensystems (100) in welchem das Überdruckventil (150) angeordnet ist oberhalb eines Öffnungsdrucks (OD) des Überdruckventils (150), ein Erzeugungsmodul (30) für ein Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD) in dem Gasabschnitt (140), ein Erfassungsmodul (40) für ein Erfassen einer Druckänderung (DA) in dem Gasabschnitt (140) nach dem Erzeugen des vorgegebenen Prüfdrucks (PD) und ein Ausgabemodul (50) für ein Ausgeben eines Prüfsignals (PS) als Ergebnis der Überprüfung auf Basis der erfassten Druckänderung (DA), wobei das Vorgabemodul (20), das Erzeugungsmodul (30), das Erfassungsmodul (40) und/oder das Ausgabemodul (50) für eine Ausführung eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet sind.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

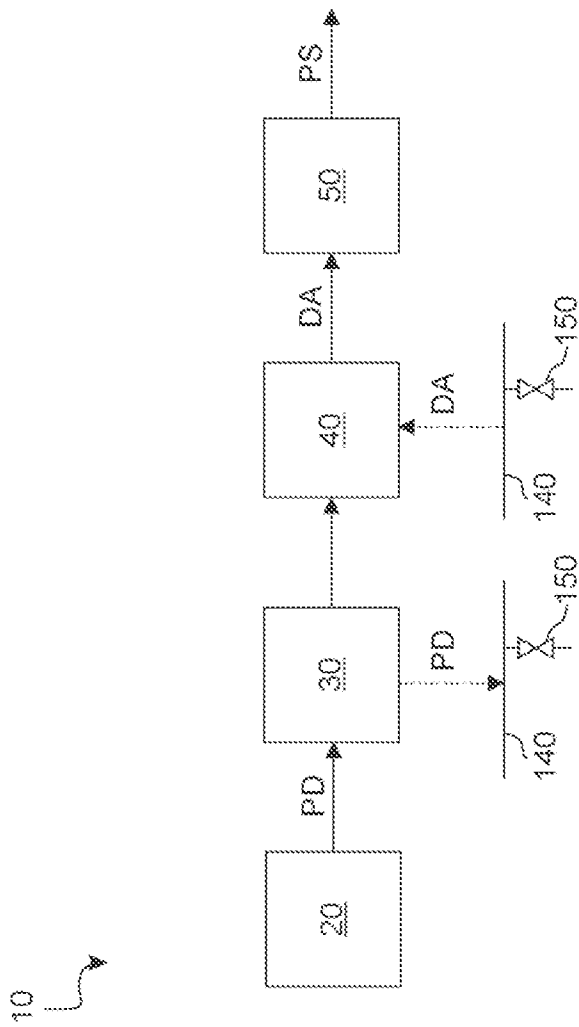


Fig. 1

2/5

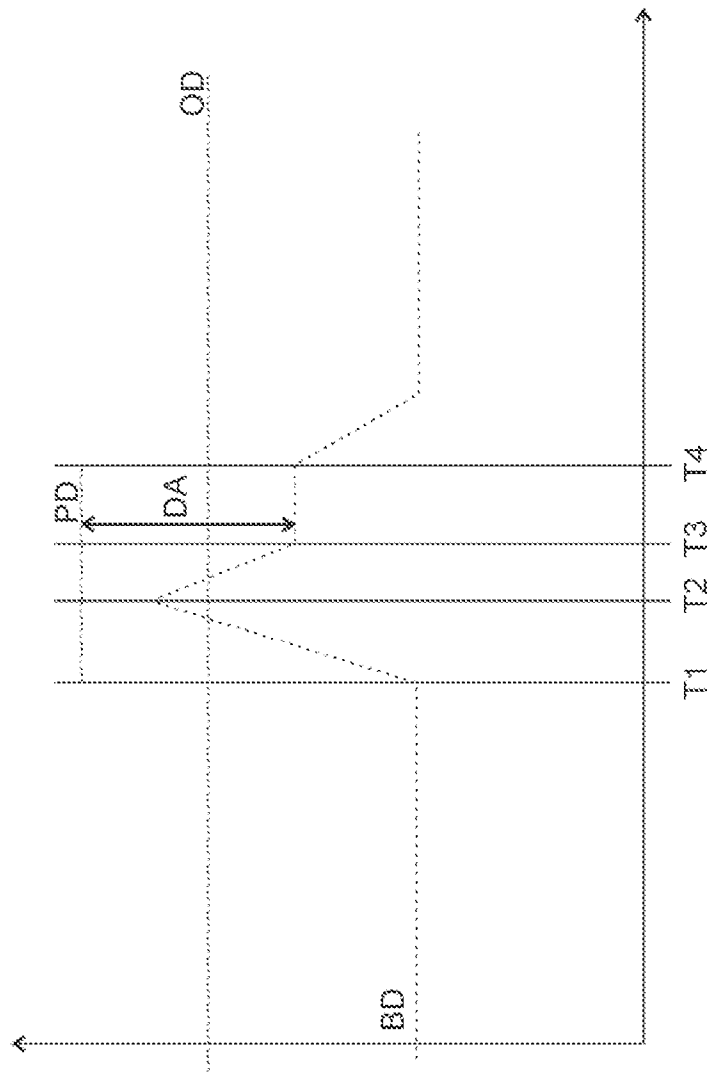


Fig. 2

3/5

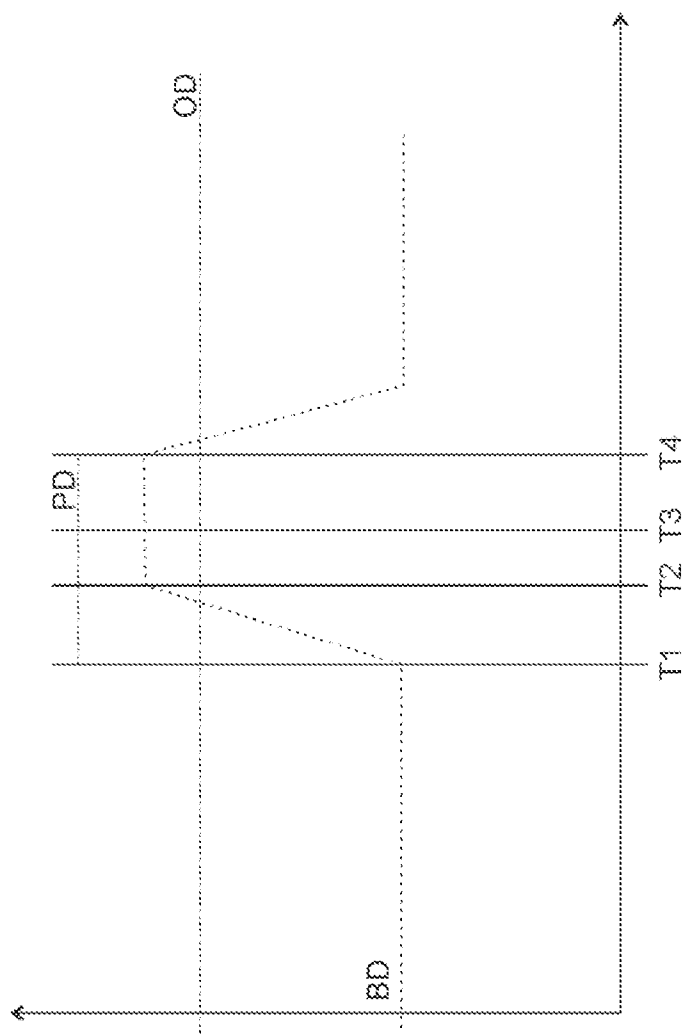


Fig. 3

4/5

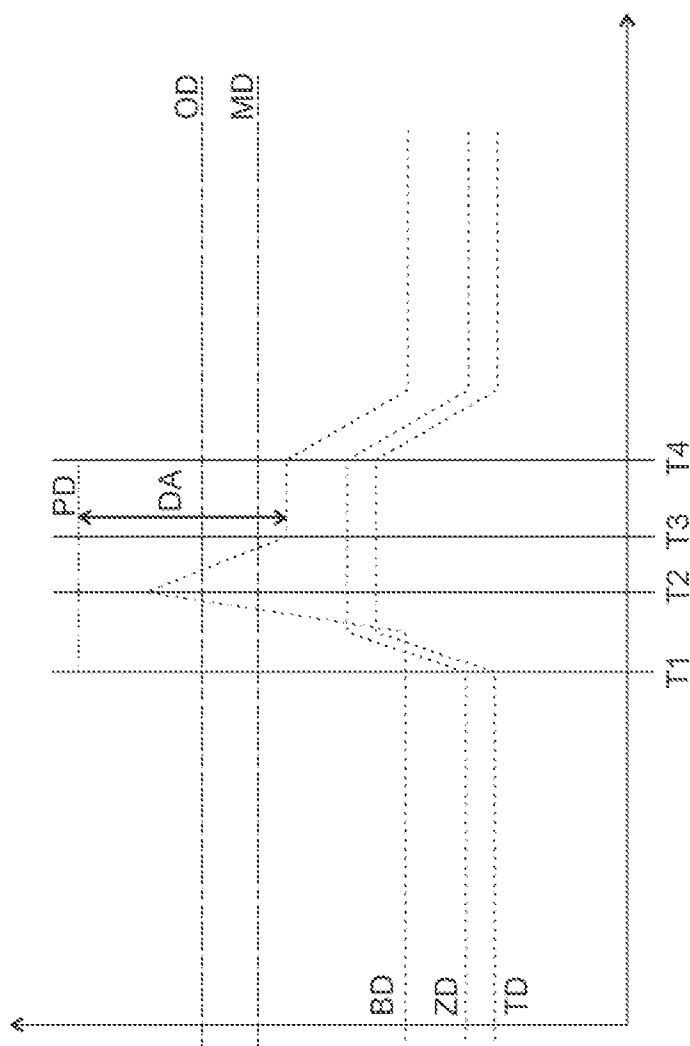


Fig. 4

5/5

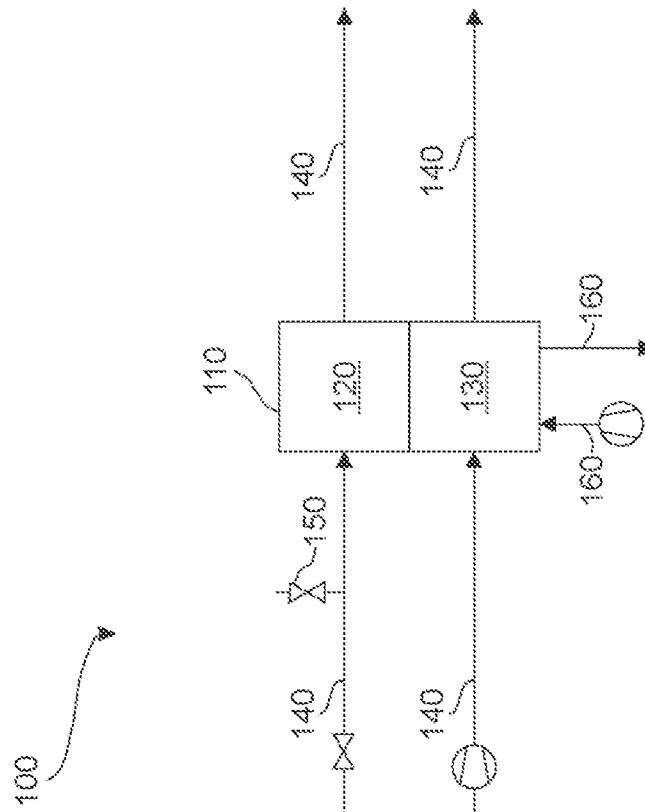


Fig. 5