



(10) **DE 10 2016 109 306 B4** 2022.03.03

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 109 306.8**  
(22) Anmeldetag: **20.05.2016**  
(43) Offenlegungstag: **29.12.2016**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **03.03.2022**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04492 (2016.01)**  
**H01M 8/04992 (2016.01)**  
**H01M 8/04858 (2016.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2015-125681**      **23.06.2015**      **JP**

(73) Patentinhaber:  
**TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA, Toyota-  
shi, Aichi-ken, JP**

(74) Vertreter:  
**KUHLEN & WACKER Patent- und  
Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Ogawa, Tomohiro, Toyota-shi, Aichi-ken, JP;**  
**Maruo, Tsuyoshi, Toyota-shi, Aichi-ken, JP; Toida,  
Masashi, Toyota-shi, Aichi-ken, JP; Naganuma,  
Yoshiaki, Toyota-shi, Aichi-ken, JP**

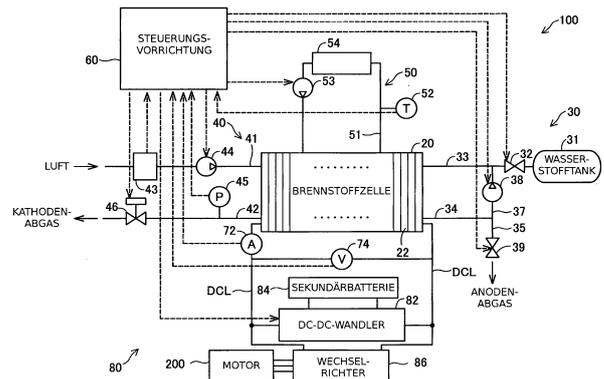
(56) Ermittelte Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>11 2007 002 655</b>	<b>B4</b>
<b>JP</b>	<b>2008- 84 601</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem mit verbesserter Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts**

(57) Hauptanspruch: Brennstoffzellensystem (100), aufweisend:

eine Brennstoffzelle (20) mit einer Elektrolytmembran; und eine Wassergehalt-Schätzvorrichtung (65), welche derart konfiguriert ist, dass diese einen ersten Wassergehalt-Schätzvorgang durchführt, welcher einen Wassergehalt der Brennstoffzelle (20) basierend auf einer differentiellen Impedanz oder einer Hochfrequenzimpedanz abschätzt, wobei die differentielle Impedanz einer Differenz zwischen einer Niederfrequenzimpedanz und der Hochfrequenzimpedanz der Brennstoffzelle (20) entspricht, wobei die Wassergehalt-Schätzvorrichtung (65) nach der Erfüllung einer ersten Bedingung bis zur Erfüllung einer zweiten Bedingung einen zweiten Wassergehalt-Schätzvorgang anstelle des ersten Wassergehalt-Schätzvorgangs durchführt, welcher den Wassergehalt der Brennstoffzelle (20) basierend auf einem Ausgangsstromwert der Brennstoffzelle (20) abschätzt, wobei die zweite Bedingung angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, und die erste Bedingung angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, wobei die erste Bedingung darin liegt, dass ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis größer oder gleich einem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist, welcher größer als ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis während eines herkömmlichen Betriebs des Brennstoffzellensystems (100) ist, wobei das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis einem Verhältnis eines tatsächlichen ...



**Beschreibung**

Hintergrund

Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem.

Stand der Technik

**[0002]** In einer Polymerelektrolytbrennstoffzelle (nachfolgend einfach als „Brennstoffzelle“ bezeichnet) bewirkt ein übermäßig hoher Wassergehalt der Brennstoffzelle (ein übermäßig großer Betrag an flüssigem Wasser in der Brennstoffzelle), dass ein Reaktionsgas-Strömungspfad blockiert wird, wodurch die Ausgangsleistung abnimmt. Ein übermäßig geringer Wassergehalt der Brennstoffzelle führt andererseits dazu, dass eine Elektrolytmembran ausgetrocknet wird, und reduziert dadurch die Protonenleitfähigkeit in der Elektrolytmembran, wodurch die Ausgangsleistung abnimmt. Es ist daher wünschenswert, den Wassergehalt der Brennstoffzelle angemessen zu steuern, um die Ausgangsleistung der Brennstoffzelle geeignet aufrechtzuerhalten. Eine vorgeschlagene Technologie schätzt den Wassergehalt der Brennstoffzelle basierend auf einer Beziehung einer Impedanz der Brennstoffzelle zu dem Wassergehalt der Brennstoffzelle ab (JP 2010-165463 A).

**[0003]** Bei der Technologie zum Abschätzen des Wassergehalts der Brennstoffzelle basierend auf der Impedanz der Brennstoffzelle, wie in der JP 2010-165463 A beschrieben, ist es jedoch wahrscheinlich, dass diese beim Auftreten eines lokalen bzw. lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran einen Fehler bei dem Schätzwert des Wassergehalts vorsieht. Daher besteht entsprechend Bedarf an einer Technologie, welche die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts der Brennstoffzelle beim Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran verbessert.

**[0004]** Die DE 11 2007 002 655 B4 offenbart ein Brennstoffzellensystem mit einer Wassererzeugungsmengen-Erfassungseinrichtung, welche die Wassermenge, die in der Brennstoffzelle erzeugt wird, während eines Niedrigeffizienzbetriebs des Systems erfasst, und einer Gaszufuhr-Begrenzungseinrichtung, welche die der Brennstoffzelle zuzuführende Gasmenge basierend auf der erfassten Wassermenge begrenzt. Die Wassererzeugungsmengen-Erfassungseinrichtung erlaubt, die Menge an erzeugtem Wasser während eines Niedrigeffizienzbetriebs der Brennstoffzelle korrekt zu bestimmen, wodurch das geeignete Aufwärmen ermöglicht wird, und hemmt ein Generieren einer Bedingung, bei der die Menge an erzeugtem Wasser zu groß ist und ein Aufwärmbetrieb behindert wird.

**[0005]** Darüber hinaus offenbart die JP 2008- 084 601 A ein Brennstoffzellensystem mit einer Impedanzmessungseinrichtung, welche die Impedanz einer Brennstoffzelle misst, und einer Wassergehaltsschätzeinrichtung, welche den Wassergehalt der Brennstoffzelle basierend auf einer Beziehung zwischen der Impedanz und dem geschätzten Wassergehalt der Brennstoffzelle schätzt. Die gemessene Impedanz oder der geschätzte Wassergehalt wird basierend auf der Umgebungstemperatur der Brennstoffzelle korrigiert.

Kurzfassung

**[0006]** Um zumindest einen Teil der vorstehenden Probleme zu lösen, kann die Erfindung durch irgendeinen der nachfolgenden Aspekte implementiert sein.

**[0007]** (1) Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem vorgesehen. Dieses Brennstoffzellensystem weist eine Brennstoffzelle, welche derart konfiguriert ist, dass diese eine Elektrolytmembran umfasst; und eine Wassergehalt-Schätzeinrichtung, die derart konfiguriert ist, dass diese einen ersten Wassergehalt-Schätzworgang durchführt, welcher einen Wassergehalt der Brennstoffzelle basierend auf einer differentiellen Impedanz als eine Differenz zwischen einer Niedrigfrequenzimpedanz und einer Hochfrequenzimpedanz der Brennstoffzelle oder basierend auf der Hochfrequenzimpedanz abschätzt, auf. Die Wassergehalt-Schätzeinrichtung führt nach der Erfüllung einer ersten Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, bis zur Erfüllung einer zweiten Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, einen zweiten Wassergehalt-Schätzworgang anstelle des ersten Wassergehalt-Schätzworgangs durch, welcher den Wassergehalt der Brennstoffzelle basierend auf einem Ausgangsstromwert der Brennstoffzelle abschätzt. Die erste Bedingung liegt darin, dass ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis als ein Verhältnis eines tatsächlichen Zuführbetrags

eines Oxidationsgases zu einem theoretisch erforderlichen Zufuhrbetrag des Oxidationsgases bei dem Brennstoffzellensystem größer oder gleich einem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist, welcher größer als ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis während eines herkömmlichen Betriebs des Brennstoffzellensystems ist, und dass eine erste Ablaufzeit ausgehend davon, dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis größer oder gleich dem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert wird, verstrichen ist. Die zweite Bedingung liegt darin, dass ein kumulierter Stromwert durch eine Kumulation des Ausgangsstromwerts der Brennstoffzelle für eine zweite Ablaufzeit ausgehend von der Erfüllung der ersten Bedingung größer oder gleich einem Referenzwert des kumulierten Stromwerts ist oder dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis niedriger bzw. kleiner als der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist und dass eine dritte Ablaufzeit ausgehend davon, dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis kleiner als der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert wird, verstrichen ist.

**[0008]** Die erste Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, steht für eine Bedingung dahingehend, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt. Die Erfüllung der ersten Bedingung bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran tatsächlich auftritt. Die zweite Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, steht für eine Bedingung dahingehend, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist. Die Erfüllung der zweiten Bedingung bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran tatsächlich beseitigt ist.

**[0009]** Der Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert ermöglicht, dass der Wassergehalt der Brennstoffzelle auch beim Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran mit hoher Genauigkeit abgeschätzt wird. Das Brennstoffzellensystem dieses Aspekts führt den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert durch, wenn eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt. Dies verbessert die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts.

**[0010]** (2) Bei dem Brennstoffzellensystem des vorstehenden Aspekts kann der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert gemäß der Temperatur der Brennstoffzelle verändert werden. Diese Konfiguration verändert den Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert gemäß der Wahrscheinlichkeit des Austrocknens der Elektrolytmembran, was die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts weiter verbessert.

**[0011]** Die Erfindung kann durch irgendeinen von verschiedenen Aspekten implementiert sein, beispielsweise ein Schätzverfahren des Wassergehalts einer Brennstoffzelle, einen sich bewegenden Körper mit dem darauf montierten Brennstoffzellensystem, ein Steuerungsverfahren des Brennstoffzellensystems, ein Computerprogramm, welches derart konfiguriert ist, dass dieses die Funktionen des Verfahrens, des Systems, des sich bewegenden Körpers und des Steuerungsverfahrens implementiert, und ein nicht flüchtiges Speichermedium, in welchem das Computerprogramm gespeichert ist.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist eine Abbildung, welche die schematische Konfiguration eines Brennstoffzellensystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt;

**Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, welches die funktionelle Konfiguration einer Steuerungsvorrichtung darstellt;

**Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, welches einen Ablauf eines Wassergehalt-Schätzvorgangs bei dem Brennstoffzellensystem zeigt;

**Fig. 4** ist eine Abbildung, welche den Umriss eines Schätzverfahrens des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert darstellt;

**Fig. 5** ist ein Diagramm, welches eine Gleichung (5) mit Bezug auf ein Kennfeld für ein abgelassenes bzw. abgeleitetes flüssiges Wasser bzw. ein Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld darstellt; und

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, welches einen Ablauf eines Wassergehalt-Schätzvorgangs bei einem Brennstoffzellensystem gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt.

## Beschreibung von Ausführungsformen

## A. Erste Ausführungsform

## A1. Konfiguration des Brennstoffzellensystems

**[0012]** Fig. 1 ist eine Abbildung, welche die schematische Konfiguration eines Brennstoffzellensystems 100 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt. Gemäß dieser Ausführungsform ist das Brennstoffzellensystem 100 auf einem Fahrzeug montiert. Das Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform umfasst hauptsächlich eine Brennstoffzelle 20, ein Wasserstoff-Zuführ-Abführ-System 30, welches derart konfiguriert ist, dass dieses Wasserstoff als ein Brenngas zuführt und abführt, ein Luft-Zuführ-Abführ-System 40, welches derart konfiguriert ist, dass dieses die Luft als ein Oxidationsgas zuführt und abführt, ein Kühlsystem 50, welches derart konfiguriert ist, dass dieses die Brennstoffzelle 20 abkühlt, eine Steuerungsvorrichtung 60, welche derart konfiguriert ist, dass diese das Brennstoffzellensystem 100 steuert, und ein elektrisches Leistungssystem 80, welches derart konfiguriert ist, dass dieses elektrische Leistung des Brennstoffzellensystems 100 lädt und entlädt.

**[0013]** Die Brennstoffzelle 20 entspricht einer Polymerelektrolytbrennstoffzelle, welche relativ klein ist und eine ausgezeichnete Leistungserzeugungseffizienz aufweist. Die Brennstoffzelle 20 erzeugt eine elektromotorische Kraft durch elektrochemische Reaktionen von reinem Wasserstoff als der Brennstoff mit Sauerstoff, welcher in der Luft enthalten ist, als das Oxidationsgas bei jeweiligen Elektroden. Die Brennstoffzelle 20 weist durch Stapeln einer Mehrzahl von Einheitszellen 22 eine gestapelte Struktur auf. Die Anzahl der gestapelten Einheitszellen 22 kann gemäß einem erforderlichen Ausgang der Brennstoffzelle 20 beliebig eingestellt sein. Jede Einheitszelle 22 umfasst eine Membranelektrodenanordnung (nicht gezeigt), welche durch Platzieren von Elektroden-Katalysatorschichten auf jeweiligen Oberflächen einer Elektrolytmembran erhalten wird, zwei Separatoren (nicht gezeigt), welche über die zwischen diesen angeordnete Membranelektrodenanordnung angeordnet sind, und Gasdiffusionsschichten, welche zwischen der Membranelektrodenanordnung und den jeweiligen Separatoren platziert sind.

**[0014]** Die Elektrolytmembran entspricht einer Festpolymerelektrolytmembran, welche im nassen bzw. feuchten Zustand, bei welchem die Elektrolytmembran im Inneren Wasser enthält, eine gute Protonenleitfähigkeit vorweist. Als die Elektrolytmembran kann beispielsweise eine Sulfonsäuregruppen enthaltende Fluororesin bzw. Fluorharz basierende Ionenaustauschmembran, wie Flemion (eingetragene Marke) oder Aciplex (eingetragene Marke), verwendet werden. Die Elektrolytmembran ist jedoch nicht auf die Sulfonsäuregruppen enthaltende Membran beschränkt, sondern diese kann einer Membran mit einer anderen Ionenaustauschgruppe, wie einer Phosphorsäuregruppe oder Carboxylsäuregruppe, entsprechen.

**[0015]** Die Elektrodenkatalysatorschicht weist leitfähige Partikel mit einem darauf getragenen Katalysator und einen Ionomer als einen protonenleitfähigen Körper auf. Der verwendete Katalysator kann beispielsweise Platin oder eine Legierung aus Platin und einem anderen Metall, wie Ruthenium oder Eisen, sein. Die verwendeten leitfähigen Partikel können beispielsweise Kohlenstoffpartikel, wie Carbon Black, oder Kohlenstofffasern sein. Der verwendete Ionomer kann beispielsweise einem Sulfonsäuregruppen enthaltenden Fluororesin bzw. Fluorharz entsprechen. Der Ionomer dient dazu, um die leitfähigen Partikel mit dem darauf getragenen Katalysator zu binden.

**[0016]** Die Gasdiffusionsschicht ist aus einem porösen Element gebildet, welches derart konfiguriert ist, dass dieses das Reaktionsgas verteilt und Wasser, welches beispielsweise durch die elektrochemische Reaktion erzeugt wird, abführt. Die Gasdiffusionsschicht kann beispielsweise aus einem porösen Kohlenstoffkörper, wie Kohlepapier oder Carbon Cloth bzw. einem Kohlestoff, oder aus einem porösen Metallkörper, wie einem Metallgewebe oder einem Metallschaum, hergestellt sein. Gemäß einer Modifikation kann auf die Gasdiffusionsschichten bei der Konfiguration der Einheitszelle 22 verzichtet werden.

**[0017]** Der Separator kann aus einem gasundurchlässigen leitfähigen Element, wie dichtem Kohlenstoff, welcher durch Verdichten von Kohlenstoff hergestellt wird, so dass dieser gasundurchlässig ist, oder einer pressgeformten Metallplatte ausgebildet sein. Der Separator weist Strömungspfade auf, durch welche die Reaktionsgase und Kühlwasser strömen.

**[0018]** Das Wasserstoff-Zuführ-Abführ-System 30 umfasst hauptsächlich einen Wasserstofftank 31, einen Injektor 32, eine Leitung 33, welche derart angeordnet ist, dass diese Wasserstoff hin zu der Brennstoffzelle 20 führt, eine Leitung 34, welche derart angeordnet ist, dass diese ein Abgas führt, eine Leitung 37, welche

derart angeordnet ist, dass diese einen in dem Abgas enthaltenen Wasserstoff zirkuliert, eine Wasserstoffpumpe 38, eine Leitung 35, welche derart angeordnet ist, dass diese das Abgas abführt, und ein Absperrventil 39. Ein Wasserstoff, welcher von dem Wasserstofftank 31 freigegeben wird, der derart konfiguriert ist, dass dieser Hochdruck-Wasserstoff speichert, weist eine Strömungsrate auf, welche durch den Injektor 32 gesteuert wird, und dieser wird über die Leitung 33 hin zu den Anoden der Brennstoffzelle 20 geführt. Ein Anoden-Abgas wird in die Leitung 34 eingeführt, wird einer Separation des Wassergehalts durch einen Gas-Flüssigkeits-Separator (nicht gezeigt) unterzogen und wird anschließend über die Leitung 37 zu der Leitung 33 zurückgeführt. Der Wassergehalt in dem Anoden-Abgas, welcher durch den Gas-Flüssigkeits-Separator abgetrennt wird, wird über die Leitung 35 hin zu der Atmosphäre abgeführt. Das Absperrventil 39 ist bei der Leitung 35 vorgesehen. Der Wassergehalt in dem Anoden-Abgas wird in dem Zustand abgeführt, bei welchem das Absperrventil 39 geöffnet ist. Die Wasserstoffpumpe 38 ist bei der Leitung 37 vorgesehen, um die Strömungsrate der Zirkulation des in dem Anoden-Abgas enthaltenen Wasserstoffs zu regulieren.

**[0019]** Das Luft-Zuführ-Abführ-System 40 umfasst hauptsächlich eine Leitung 41, welche derart angeordnet ist, dass diese die Luft zuführt, einen Luftströmungsmesser 43, einen Luftkompressor 44, eine Leitung 42, welche derart angeordnet ist, dass diese ein Abgas abführt, ein Druckmessgerät 45 und einen Druckregler 46. Die verdichtete Luft, welche durch den Luftkompressor 44 verdichtet wird, wird über die Leitung 41 hin zu den Kathoden der Brennstoffzelle 20 geführt. Ein Kathoden-Abgas wird über die Leitung 42 hin zu der Atmosphäre abgeführt. Der Luftströmungsmesser 43 ist stromaufwärts des Luftkompressors 44 bei der Leitung 41 vorgesehen, um den Betrag der Außenluft zu messen, welche durch den Luftkompressor 44 aufgenommen werden soll. Der Zuführbetrag der Luft durch den Luftkompressor 44 wird basierend auf dem Messwert durch den Luftströmungsmesser 43 gesteuert. Das Druckmessgerät 45 und der Druckregler 46 sind bei der Leitung 42 vorgesehen, um die Öffnung des Druckreglers 46 basierend auf dem gemessenen Druck des Kathoden-Abgases durch das Druckmessgerät 45 anzupassen. Der durch den Luftströmungsmesser 43 gemessene Luftbetrag und der durch das Druckmessgerät 45 gemessene Druck des Kathoden-Abgases werden hin zu der Steuerungsvorrichtung 60 gesendet, um zur Abschätzung des Wassergehalts in der Brennstoffzelle 20 verwendet zu werden, wie später beschrieben ist.

**[0020]** Das Kühlsystem 50 umfasst hauptsächlich eine Leitung 51, welche derart angeordnet ist, dass diese Kühlwasser zirkuliert, einen Temperatursensor 52, eine Kühlwasserpumpe 53 und einen Kühler 54. Kühlwasser wird durch die Kühlwasserpumpe 53 über eine Strömungspfad zirkuliert, welcher durch die Leitung 51 und die Brennstoffzelle 20 definiert ist. Das Kühlwasser strömt insbesondere in der Brennstoffzelle 20, um die Brennstoffzelle 20 abzukühlen, wird anschließend durch den Kühler 54 abgekühlt und wird erneut hin zu der Brennstoffzelle 20 geführt. Die Strömungsrate der Zirkulation durch die Kühlwasserpumpe 53 wird basierend auf der durch den Temperatursensor 52 gemessenen Kühlwassertemperatur gesteuert. Dies reguliert die Betriebstemperatur der Brennstoffzelle 20. Die durch den Temperatursensor 52 gemessene Temperatur wird hin zu der Steuerungsvorrichtung 60 gesendet, um für die Abschätzung des Wassergehalts in der Brennstoffzelle 20 verwendet zu werden, wie später beschrieben ist.

**[0021]** Das elektrische Leistungssystem 80 umfasst einen DC-DC-Wandler 82, eine Sekundärbatterie 84 und einen Wechselrichter 86. Die Brennstoffzelle 20 ist über eine DC-Leitung DCL mit dem Wechselrichter 86 verbunden. Der Wechselrichter 86 ist mit einem Motor 200 verbunden, welcher einer Antriebs-Leistungsquelle des Brennstoffzellenfahrzeugs entspricht. Die Sekundärbatterie 84 ist über den DC-DC-Wandler 82 mit der DC-Leitung DCL verbunden.

**[0022]** Die Sekundärbatterie 84 dient als eine Hilfsleistungsquelle der Brennstoffzelle 20 und diese kann beispielsweise durch eine aufladbare und entladbare Lithiumionenbatterie implementiert sein. Die Steuerungsvorrichtung 60 steuert den DC-DC-Wandler 82, um den elektrischen Strom und die Spannung der Brennstoffzelle 20 zu steuern, und um die Ladung und Entladung der Sekundärbatterie 84 zu steuern, und diese passt dadurch das Spannungsniveau der DC-Leitung DCL variabel an.

**[0023]** Der Wechselrichter 86 dient dazu, um eine von der Brennstoffzelle 20 und der Sekundärbatterie 84 eingegebene DC-Leistung in eine AC-Leistung umzuwandeln, und um die umgewandelte AC-Leistung hin zu dem Motor 200 zu führen. In dem Fall, bei welchem in dem Motor 200 eine regenerative Leistung erzeugt wird, wird die regenerative Leistung durch den Wechselrichter 86 in eine DC-Leistung umgewandelt und über den DC-DC-Wandler 82 in die Sekundärbatterie 84 geladen.

**[0024]** Das Brennstoffzellensystem 100 umfasst außerdem einen Stromsensor 72, welcher derart konfiguriert ist, dass dieser einen Ausgangsstrom der Brennstoffzelle 20 erfasst, und einen Spannungssensor 74, welcher derart konfiguriert ist, dass dieser eine Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 20 erfasst. Die Erfas-

sungswerte des Stromsensors 72 und des Spannungssensors 74 werden hin zu der Steuerungsvorrichtung 60 gesendet, um für die Abschätzung des Wassergehalts in der Brennstoffzelle 20 verwendet zu werden, wie später beschrieben ist.

**[0025]** Die Steuerungsvorrichtung 60 ist durch einen Mikrocomputer implementiert, welcher eine zentrale Verarbeitungseinheit und eine Hauptspeichereinheit umfasst. Die Steuerungsvorrichtung 60 bestimmt eine Ziel-Ausgangsspannung gemäß dem Niederdrückbetrag eines Gaspedals (nicht gezeigt) basierend auf einem Erfassungswert, welcher von einem Gaspedalsensor (nicht gezeigt) erhalten wird, und steuert die jeweiligen Komponenten des Brennstoffzellensystems 100, wie vorstehend beschrieben, gemäß der Ziel-Ausgangsspannung, um die Brennstoffzelle 20 zu veranlassen, elektrische Leistung zu erzeugen.

**[0026]** Wie später detailliert beschrieben ist, schätzt die Steuerungsvorrichtung 60 den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 ab und steuert den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Schätzwert des Wassergehalts geeignet.

**[0027]** Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, welches die funktionelle Konfiguration der Steuerungsvorrichtung 60 darstellt. Die Steuerungsvorrichtung 60 umfasst eine Ziel-Spannungs-Ermittlungsvorrichtung 61, einen Generator 62 für ein überlagertes Signal, einen Spannungs-Befehlssignal-Generator 63, eine Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64, eine Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 und eine Wassergehalt-Steuerungsvorrichtung 66.

**[0028]** Die Ziel-Spannungs-Ermittlungsvorrichtung 61 ermittelt eine Ziel-Ausgangsspannung (beispielsweise 300 V) basierend auf verschiedenen Sensorsignalen, welche beispielsweise von dem Gaspedalsensor (nicht gezeigt) eingegeben werden, und diese gibt gemäß der ermittelten Ziel-Ausgangsspannung ein Ziel-Ausgangsspannungssignal hin zu dem Spannungs-Befehlssignal-Generator 63 aus.

**[0029]** Der Generator 62 für ein überlagertes Signal erzeugt ein Impedanz-Messsignal (beispielsweise Sinussignale mit spezifischen Frequenzen mit der Amplitude von 2 V), welches bei dem Ziel-Ausgangsspannungssignal überlagert werden soll, und dieser gibt das erzeugte Impedanz-Messsignal hin zu dem Spannungs-Befehlssignal-Generator 63 aus. Dieses Impedanz-Messsignal umfasst zwei unterschiedliche Typen von Sinussignalen einer niedrigen Frequenz und einer hohen Frequenz. Die niedrige Frequenz kann einem Frequenzbereich von beispielsweise etwa 100 Hz entsprechen (nachfolgend als „Niedrigfrequenzbereich“ bezeichnet), und die hohe Frequenz kann einem Frequenzbereich von beispielsweise etwa 1 KHz (nachfolgend als „Hochfrequenzbereich“ bezeichnet) entsprechen. Die jeweiligen Parameter (Wellenform, Frequenz und Amplitude) des Ziel-Ausgangsspannungssignals und des Impedanz-Messsignals können beispielsweise gemäß der Systemgestaltung geeignet eingestellt sein.

**[0030]** Der Spannungs-Befehlssignal-Generator 63 überlagert das Impedanz-Messsignal bei dem Ziel-Ausgangsspannungssignal und gibt das überlagerte Signal als ein Spannungs-Befehlssignal hin zu dem DC-DC-Wandler 82 aus. Insbesondere werden das Niedrigfrequenzsignal und das Hochfrequenzsignal des Impedanz-Messsignals sequenziell bei dem Ziel-Ausgangsspannungssignal überlagert. Der DC-DC-Wandler 82 steuert die Spannung der Brennstoffzelle 20 im Ansprechen auf das Eingangsspannungs-Befehlssignal.

**[0031]** Die Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64 nimmt die Werte der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 20, welche durch den Spannungssensor 74 erfasst werden, und die Werte des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle 20, welche durch den Stromsensor 72 erfasst werden, bei vorbestimmten Sampling- bzw. Aufnahmezeiten auf und verarbeitet die aufgenommenen Werte durch eine Fourier-Transformation oder dergleichen (beispielsweise FFT-Betrieb oder DFT-Betrieb). Die Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64 berechnet eine Impedanz der Brennstoffzelle 20 beispielsweise durch Dividieren eines Ausgangsspannungssignals nach der Fourier-Transformation durch ein Ausgangsstromsignal nach der Fourier-Transformation, und extrahiert eine Hochfrequenzimpedanz und eine Niedrigfrequenzimpedanz aus der berechneten Impedanz. Die Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64 subtrahiert die Hochfrequenzimpedanz von der Niedrigfrequenzimpedanz, um eine differenzielle Impedanz zu berechnen. Die Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64 gibt die berechnete differenzielle Impedanz hin zu der Wassergehalt-Steuerungsvorrichtung 66 aus.

**[0032]** Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 umfasst ein Impedanz-Wassergehalt-Kennfeld 652 und ein Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld 654. Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 verändert bzw. wechselt einen Schätzworgang des Wassergehalts in der Brennstoffzelle 20 (Schätzverfahren) basierend auf dem Auftreten oder dem Nicht-Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran. Insbesondere wenn ermittelt wird, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran

ran auftritt, sieht die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 einen Schätzwert des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Ausgangsstromwert der Brennstoffzelle 20 vor. Ansonsten sieht die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 einen Schätzwert des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf der Impedanz der Brennstoffzelle 20 vor. Die Abschätzung des Wassergehalts durch die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 ist später detailliert beschrieben.

**[0033]** Die Wassergehalt-Steuerungsvorrichtung 66 führt einen Wassergehalt-Wiederherstellungsvorgang durch, um den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 zu erhöhen, wenn der durch die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 abgeschätzte Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 kleiner als ein vorbestimmter Referenzwert ist. Der vorbestimmte Referenzwert kann beispielsweise einem Wassergehalt entsprechen, welcher derart eingestellt ist, dass dieser verhindert, dass die Katalysatorschichten und die Elektrolytmembran ausgetrocknet werden.

**[0034]** Der Wassergehalt-Wiederherstellungsvorgang kann beispielsweise irgendeinem der nachstehend angegebenen Vorgänge entsprechen:

- 1) ein Luftstöchiometrie-Verhältnis-Verringerungsvorgang zum Verringern der Strömungsrate des Luftkompressors 44, um ein Luftstöchiometrie-Verhältnis zu verringern. Das Luftstöchiometrie-Verhältnis hierin bezeichnet ein Verhältnis des tatsächlichen Luftbetrags zu einem theoretischen Wert des erforderlichen Luftbetrags gemäß der Ziel-Ausgangsspannung der Brennstoffzelle;
- 2) ein Oxidationsgas-Befeuchtungsvorgang zum Befeuchten des zuzuführenden Oxidationsgases (der Luft);
- 3) ein Oxidationsgas-Gegendruck-Erhöhungsvorgang zum Erhöhen des Gegendrucks des Oxidationsgases durch Anpassen des Druckreglers 46;
- 4) ein Anoden-Stöchiometrie-Verhältnis-Erhöhungsvorgang zum Erhöhen des Zufuhrbetrags von Wasserstoff, um ein Anoden-Stöchiometrie-Verhältnis zu erhöhen. Das Anoden-Stöchiometrie-Verhältnis hierin bezeichnet ein Verhältnis des tatsächlichen Wasserstoffbetrags zu einem theoretischen Wert des erforderlichen Wasserstoffbetrags gemäß der Ziel-Ausgangsspannung der Brennstoffzelle;
- 5) ein Anoden-Stöchiometrie-Verhältnis-Verringerungsvorgang zum Verringern des Zufuhrbetrags von Wasserstoff, um das Anoden-Stöchiometrie-Verhältnis zu verringern;
- 6) ein Kühlwassertemperatur-Verringerungsvorgang zum Verringern der Temperatur des Kühlwassers beispielsweise durch Betätigen eines Kühlerlüfters (nicht gezeigt); und
- 7) ein Kühlwasserströmungs-Erhöhungsvorgang zum Erhöhen der Strömungsrate des Kühlwassers beispielsweise durch Betätigen der Kühlwasserpumpe 53.

## A2. Wassergehalt-Schätzvorgang

**[0035]** Fig. 3 ist ein Flussdiagramm, welches einen Ablauf eines Wassergehalt-Schätzvorgangs bei dem Brennstoffzellensystem 100 zeigt. Der Wassergehalt-Schätzvorgang wird bei einem Start des Brennstoffzellensystems 100 gestartet und bis zu einem Stopp des Betriebs des Brennstoffzellensystems 100 wiederholend durchgeführt.

**[0036]** Bei Schritt S102 erzeugt der Generator 62 für ein überlagertes Signal das Impedanz-Messsignal und gibt das erzeugte Impedanz-Messsignal hin zu dem Spannungs-Befehlssignal-Generator 63 aus. Ein DC-Strom wird entsprechend über den DC-DC-Wandler 82 hin zu der Brennstoffzelle 20 geführt.

**[0037]** Bei Schritt S104 berechnet die Impedanz-Berechnungsvorrichtung 64 die differenzielle Impedanz der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Erfassungswert der Ausgangsspannung durch den Spannungssensor 74 und dem Erfassungswert des Ausgangsstroms durch den Stromsensor 72, wie vorstehend beschrieben ist.

**[0038]** Bei Schritt S106 erhält die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 die durch die Ziel-Spannungs-Ermittlungsvorrichtung 61 ermittelte Ziel-Ausgangsspannung, erhält den Erfassungswert des Einlassluftbetrags, welcher von dem Luftströmungsmesser 43 aufgenommen wird, und berechnet das Luftstöchiometrie-Verhältnis. Das Luftstöchiometrie-Verhältnis dieser Ausführungsform entspricht dem Oxidationsgas-Stöchiometrie-Verhältnis in den Ansprüchen.

**[0039]** Bei Schritt S108 ermittelt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65, ob das bei Schritt S106 berechnete Luftstöchiometrieverhältnis größer oder gleich 3 ist. Wenn bei Schritt S108 ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  ist, schreitet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S110 voran. Wenn bei Schritt S108 ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  ist, schreitet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 andererseits zu Schritt S114 voran, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz durchzuführen. Wenn bei Schritt S108 ermittelt wird, dass nach einem Start des Wassergehalt-Schätzvorgangs zum ersten Mal das Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  ist, startet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Zählen einer ersten Ablaufzeit  $t_1$ . Wie später beschrieben ist, startet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 ebenso das Zählen der ersten Ablaufzeit  $t_1$  (startet das Zählen ausgehend von  $t_1=0$ ), wenn bei Schritt S108 erneut ermittelt wird, dass nach dem Ende des Zählens der ersten Ablaufzeit  $t_1$  das Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  ist. Diese Ausführungsform zeigt ein Beispiel, bei welchem der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert in den Ansprüchen auf 3 eingestellt ist. Bei dem Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform werden die jeweiligen Komponenten gesteuert, um während eines herkömmlichen Betriebs Luftstöchiometrieverhältnis = 1,5 vorzusehen. Mit anderen Worten, der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist größer als das Luftstöchiometrieverhältnis während eines herkömmlichen Betriebs des Brennstoffzellensystems 100. Der herkömmliche Betrieb hierin bezeichnet einen Betrieb, welcher gesteuert wird, um elektrische Leistung bei einer Ziel-Ausgangsspannung gemäß dem Niederdruckbetrag des Gaspedals (nicht gezeigt) durch den Nutzer zu erzeugen, und insbesondere einen Betrieb, um das Luftstöchiometrieverhältnis und das Anoden-Stöchiometrieverhältnis auf vorbestimmten Werten etwa konstant zu halten (Luftstöchiometrieverhältnis = 1,5 und Anoden-Stöchiometrieverhältnis = 1,5 bei dieser Ausführungsform). Der herkömmliche Betrieb schließt einen Betrieb aus, welcher ungeachtet des Niederdruckbetrags des Gaspedals gesteuert wird, wie einen Aufwärmvorgang oder einen Spülvorgang, und einen Betrieb, um das Luftstöchiometrieverhältnis und das Anoden-Stöchiometrieverhältnis ausgehend von den vorbestimmten Werten temporär zu verändern, wie eine schnelle Beschleunigung oder einen plötzlicher Stopp.

**[0040]** Bei Schritt S110 ermittelt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65, ob die erste Ablaufzeit  $t_1 \geq 5$  [s] ist. Wenn ermittelt wird, dass die erste Ablaufzeit  $t_1 \geq 5$  [s] ist, schreitet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S112 voran, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert durchzuführen. Wenn andererseits ermittelt wird, dass die erste Ablaufzeit  $t_1 < 5$  [s] ist, schreitet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S114 voran, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz durchzuführen. Wenn bei Schritt S110 ermittelt wird, dass die erste Ablaufzeit  $t_1 \geq 5$  [s] ist, stoppt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Zählen der ersten Ablaufzeit  $t_1$  und diese startet das Zählen einer zweiten Ablaufzeit  $t_2$ . Die erste Ablaufzeit  $t_1$  entspricht einer Zeit, welche ausgehend von der Erfüllung der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  verstrichen ist. Die zweite Ablaufzeit  $t_2$  entspricht einer Zeit, welche ausgehend von dem Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran verstrichen ist. Dieser Ausführungsform verwendet ein Andauern der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  für 5 Sekunden oder länger (Ja bei den Schritten S108 und S 110) als eine Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt. Mit anderen Worten, die Bedingungen bei den Schritten S108 und S110 dieser Ausführungsform entsprechen der ersten Bedingung in den Ansprüchen. Die Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, steht für eine Bedingung, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt. Die Erfüllung dieser Bedingung bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran tatsächlich auftritt.

**[0041]** Bei dem Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform werden die jeweiligen Komponenten gesteuert, um während eines herkömmlichen Betriebs die Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis = 1,5 vorzusehen, und um während des Spülvorgangs die Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  vorzusehen. Der Spülvorgang wird beispielsweise als das Ereignis angenommen, bei welchem ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran in der Brennstoffzelle 20 auftritt. Bei dem Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform wird der Spülvorgang bei dem Stopp des Brennstoffzellensystems 100 durchgeführt, wenn die Umgebungstemperatur niedriger als eine vorbestimmte Referenztemperatur ist. In diesem Fall kann der Spülvorgang beispielsweise für 40 bis 50 Sekunden bei dem Luftstöchiometrieverhältnis von etwa 3 bis 10 durchgeführt werden. Der Spülvorgang (Ablassvorgang) wird durchgeführt, wenn der Nutzer beliebig eine Anweisung für einen Ablassvorgang vorsieht, beispielsweise durch eine Betätigung einer Ablassvorgangschaltfläche. In diesem Fall kann der Spülvorgang beispielsweise für etwa 15 Sekunden bei dem Luftstöchiometrieverhältnis von etwa 3 bis 10 durchgeführt werden. Während des Spülvorgangs ist das Luftstöchiometrieverhältnis höher als das Luftstöchiometrieverhältnis während des herkömmlichen Vorgangs, und dieses höhere Luftstöchiometrieverhältnis dauert für eine gewisse Zeit an. Daher ist es wahrscheinlich, dass ein lokales Austrocknen in der Umgebung eines Einlasses des Oxidationsgases (der Luft) auftritt. In dem Zustand, welcher von dem

Spülvorgang abweicht, kann ein plötzliches Bremsen oder ein schnelles Beschleunigen durch den Nutzer die Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  vorsehen. In diesem Fall ist die Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  jedoch lediglich temporär und dauert nicht an, so dass es unwahrscheinlich ist, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran hervorgerufen wird. Um eine solche temporäre Zunahme des Luftstöchiometrieverhältnisses auszuschließen, fügt die Ausführungsform die Bedingung der Ablaufzeit der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  als die Bedingung hinzu, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt.

**[0042]** Bei Schritt S112 schätzt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Ausgangsstromwert ab. Die detaillierte Verarbeitung von Schritt S112 ist später beschrieben. Die Verarbeitung von Schritt S112 dieser Ausführungsform entspricht dem zweiten Wassergehalt-Schätzvorgang in den Ansprüchen.

**[0043]** Bei Schritt S116 berechnet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 einen kumulierten Wert des Ausgangsstroms (nachfolgend als „kumulierter Stromwert“ bezeichnet) für die zweite Ablaufzeit  $t_2$ . Der kumulierte Stromwert wird durch einen integrierten Wert für die Ablaufzeit  $t_2$ , welcher durch Multiplizieren des Erfassungswerts des Ausgangsstroms [A] durch den Stromsensor 72 mit der zweiten Ablaufzeit  $t_2$  [s] berechnet wird, angenähert. Zu der Zeit (erste Zeit), wenn der Wassergehalt-Schätzvorgang ausgehend von dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz (Schritt S114) hin zu dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert (Schritt S 112) gewechselt wird, wird der kumulierte Stromwert bei Schritt S116 durch 0 angenähert.

**[0044]** Bei Schritt S118 ermittelt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65, ob der bei Schritt S116 berechnete kumulierte Stromwert größer oder gleich 4000 [A·s] ist. Wenn ermittelt wird, dass der kumulierte Stromwert  $\geq 4000$  ist, kehrt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S102 zurück. Wenn andererseits ermittelt wird, dass der kumulierte Stromwert  $< 4000$  ist, kehrt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S112 zurück, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert durchzuführen. Diese Ausführungsform verwendet die Beziehung kumulierter Stromwert  $\geq 4000$  als eine Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist. Entsprechend entspricht die Verarbeitung von Schritt S118 dieser Ausführungsform der zweiten Bedingung in den Ansprüchen. Die Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, steht für eine Bedingung, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist. Die Erfüllung dieser Bedingung bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran tatsächlich beseitigt ist. Diese Ausführungsform zeigt ein Beispiel, bei welchem der Referenzwert des kumulierten Stromwerts in den Ansprüchen auf 4000 eingestellt ist.

**[0045]** Unter der Annahme des Spülvorgangs als das Ereignis, wenn ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran in dem Brennstoffzellensystem 100 auftritt, betreibt die Ausführungsform das Brennstoffzellensystem 100 unter den ähnlichen Bedingungen, ermittelt im Vorhinein experimentell den kumulierten Stromwert, welcher ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt, und stellt den Referenzwert des kumulierten Stromwerts ein. Der Referenzwert des kumulierten Stromwerts ist nicht auf den bei dieser Ausführungsform eingestellten Wert beschränkt, sondern kann gemäß der Anzahl der gestapelten Einheitszellen und dem Typ der Brennstoffzelle geeignet eingestellt sein.

**[0046]** Das Vorgehen dieser Ausführungsform führt die Berechnung des Schätzwerts des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert (Schritt S112) ausgehend von der Ermittlung der Beziehung erste Ablaufzeit  $t_1 \geq 5$  [s] bei Schritt S110 wiederholend durch, bis bei Schritt S118 ermittelt wird, dass der kumulierte Stromwert  $\geq 4000$  ist. Mit anderen Worten, das Vorgehen dieser Ausführungsform schätzt den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Ausgangsstromwert für eine Zeitphase ausgehend von der Ermittlung dahingehend, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, bis zu der Ermittlung dahingehend, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass das lokale Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, ab. Ein Wiederholungszyklus  $\Delta t$  der Verarbeitung der Schritte S112  $\rightarrow$  S116  $\rightarrow$  S118 entspricht gemäß dieser Ausführungsform 16 [ms], dieser kann jedoch geeignet eingestellt sein.

**[0047]** Wie vorstehend beschrieben ist, führt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65, wenn bei Schritt S108 ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  ist, oder bis 5 Sekunden ausgehend von der Ermittlung dahingehend verstrichen sind, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  ist (Schritt S108), den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz durch (Schritt S114). Auch wenn die Abschätzung des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert durch die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 auf die

Ermittlung dahingehend durchgeführt wird, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, wie vorstehend beschrieben ist, führt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz (Schritt S114) auf die Ermittlung dahingehend durch, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist. Mit anderen Worten, gemäß dieser Ausführungsform wechselt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Schätzverfahren des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Auftreten oder dem Nicht-Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran. Die Verarbeitung von Schritt S114 ist später beschrieben.

### A3. Abschätzung des Wassergehalts basierend auf der Impedanz

**[0048]** Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 umfasst das Impedanz-Wassergehalt-Kennfeld 652, wie vorstehend beschrieben. Das Impedanz-Wassergehalt-Kennfeld 652 bezeichnet eine Beziehung zwischen der differentiellen Impedanz der Brennstoffzelle 20 und dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20. Gemäß dieser Ausführungsform ist der Betrag an flüssigem Wasser, welches in der Elektrolytmembran, den Elektroden-Katalysatorschichten, den Gasdiffusionsschichten und den Reaktionsgas-Strömungspfaden in den Separatoren enthalten ist, als Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 bezeichnet. Wenn der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 verringert wird, wird die Elektroden-Katalysatorschicht vor der Elektrolytmembran ausgetrocknet. Die Abnahme des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 wird somit bei der Elektroden-Katalysatorschicht früher reflektiert bzw. wirkt sich bei dieser früher aus. Wie bekannt ist, steht die differentielle Impedanz in starkem Zusammenhang mit dem Wassergehalt in der Elektroden-Katalysatorschicht. Eine Abschätzung des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf der differentiellen Impedanz ermöglicht daher eine Abschätzung des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 mit hoher Genauigkeit. Gemäß dieser Ausführungsform wird eine Beziehung der differentiellen Impedanz zu dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 in Vorhinein experimentell ermittelt und in Form des Impedanz-Wassergehalt-Kennfelds 652 gespeichert. Das Impedanz-Wassergehalt-Kennfeld 652 kann als diskrete Werte vorgesehen sein, die durch ein Experiment erhalten werden, oder dieses kann als kontinuierliche Werte eines mathematischen Ausdrucks, welcher die Beziehung der differentiellen Impedanz zu dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 angibt, basierend auf den durch ein Experiment erhaltenen diskreten Werten, vorgesehen sein. Bei der erstgenannten Konfiguration, welche dieses als diskrete Werte vorsieht, können die diskreten Werte durch eine lineare Interpolation interpoliert werden.

**[0049]** Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 nimmt auf das Impedanz-Wassergehalt-Kennfeld 652 Bezug, erhält einen Schätzwert des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf der bei Schritt S104 berechneten differentiellen Impedanz und gibt den Schätzwert des Wassergehalts hin zu der Wassergehalt-Steuerungsvorrichtung 66 aus.

### A4. Abschätzung des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert

**[0050]** Fig. 4 ist eine Abbildung, welche den Umriss des Schätzverfahrens des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert darstellt. Fig. 4 stellt die innere Konfiguration der Einheitszelle 22 schematisch dar. Wie vorstehend beschrieben ist, umfasst die Einheitszelle 22 eine Membranelektrodenanordnung 4 mit Elektroden (Kathode 2 und Anode 3), welche auf den jeweiligen Seiten einer Elektrolytmembran 1 vorgesehen sind. Die Membranelektrodenanordnung 4 ist zwischen einem Kathoden-Separator 7, welcher auf der Seite der Kathode 2 angeordnet ist, und einem Anoden-Separator 8, welcher auf der Seite der Anode 3 angeordnet ist, platziert. Zusätzlich ist zwischen der Membranelektrodenanordnung 4 und dem Kathoden-Separator 7 eine Gasdiffusionsschicht 5 vorgesehen, und zwischen der Membranelektrodenanordnung 4 und dem Anoden-Separator 8 ist eine Gasdiffusionsschicht 6 vorgesehen.

**[0051]** Strömungspfade 7p und 8p, durch welche die Reaktionsgase strömen, sind entsprechend bei einer Oberfläche des Separators 7, welcher sich benachbart zu der Kathode 2 befindet, und einer Oberfläche des Separators 8, welcher sich benachbart zu der Anode 3 befindet, ausgebildet. Die Strömungspfade 7p und 8p können durch konkave Gestaltungen bzw. Einwölbungen und konvexe Gestaltungen bzw. Ausbuchtungen, wie Nuten, welche bei den jeweiligen Außenflächen der beiden Separatoren 7 und 8 vorgesehen sind, ausgebildet sein. Die Strömungspfade 7p und 8p können insbesondere durch das Ausbilden von Mustern bei Plattenelementen als Basiselemente der Separatoren 7 und 8 durch Biegen oder Pressen vorgesehen sein. Die Strömungspfade 7p und 8p können durch das Ausbilden von Aushöhlungen bei den Oberflächen der Plattenelemente durch Pressen, Schneiden oder Ätzen vorgesehen sein. Die Strömungspfade 7p und 8p können durch separate Elemente (beispielsweise Streckmetall oder gestanztes Metall), welche auf den jeweiligen Oberflächen der beiden Separatoren 7 und 8 angeordnet sind, ausgebildet sein.

**[0052]** Während des Betriebs der Brennstoffzelle 20 wird der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 hauptsächlich gemäß dem durch die Leistungserzeugungsreaktion der Brennstoffzelle 20 erzeugten Wassergehalt, dem mit dem Abgas abgeführten Betrag an Wasserdampf und dem Betrag an flüssigem Wasser, welches von der Brennstoffzelle 20 abgeleitet wird, variiert.

**[0053]** Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 der Ausführungsform berechnet eine Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 pro Zeiteinheit, multipliziert die berechnete Variation  $\Delta C$  mit einem Zyklus  $\Delta t$  der Wiederholung des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert (16 [ms] bei dieser Ausführungsform) und addiert das Produkt zu dem bei einem vorhergehenden Zyklus berechneten Wassergehalt, um den Schätzwert des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 vorzusehen. Die Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 pro Zeiteinheit kann durch den nachfolgenden Vorgang berechnet werden.

**[0054]** Die Einströmungs- und Ausströmungsbeträge von Wasser (einschließlich sowohl Wasserdampf als auch flüssiges Wasser), welches in die Brennstoffzelle 20 einströmt und von dieser ausströmt, sind auf der Seite der Kathode 2 wesentlich größer als auf der Seite der Anode 3. Der Vorgang dieser Ausführungsform vernachlässigt entsprechend die Einströmungs- und Ausströmungsbeträge von Wasser auf der Seite der Anode 3 der Brennstoffzelle 20 und nimmt an, dass die Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 gleich einer Variation  $\Delta C_c$  des Wassergehalts auf der Seite der Kathode 2 der Brennstoffzelle 20 ist ( $\Delta C = \Delta C_c$ ).

**[0055]** Die nachfolgenden Parameter tragen zu der Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 bei:

$\Delta C_g$  bezeichnet den Betrag von Wasser, welches durch die Leistungserzeugungsreaktion der Brennstoffzelle 20 erzeugt wird (Betrag an erzeugtem Wasser);

$\Delta C_v$  bezeichnet den Betrag von Wasserdampf, welcher mit dem Abgas von der Kathode 2 abgeführt wird (Betrag an ausströmendem Dampf); und

$\Delta C_l$  bezeichnet den Betrag von flüssigem Wasser, welches von der Kathode 2 abgeleitet wird (Betrag an abgeleitetem flüssigem Wasser).

**[0056]** Die Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 wird durch die nachstehend angegebene Gleichung (1) ausgedrückt:

$$\Delta C = \Delta C_g - \Delta C_v - \Delta C_l \quad (1)$$

**[0057]** Der Betrag  $\Delta C_g$  [g/s] von erzeugtem Wasser wird durch die nachstehend angegebene Gleichung (2) ermittelt:

$$\text{Betrag von erzeugtem Wasser } \Delta C_g = I \times M_{H_2O} / (F \times 2) \quad (2)$$

worin  $I$  den elektrischen Strom [A] darstellt, welcher von der Brennstoffzelle 20 pro Zeiteinheit ausgegeben wird,  $M_{H_2O}$  das Molekulargewicht von Wasser [g/mol] darstellt und  $F$  die Faradaykonstante [c/mol] darstellt.

**[0058]** Der Betrag  $\Delta C_v$  [g/s] von ausströmendem Dampf wird durch die nachstehend angegebene Gleichung (3) bestimmt:

Betrag von ausströmendem Dampf

$$\Delta C_v = P_{v\text{cut}} / (P_{v\text{out}} - P_{v\text{cut}}) \times Q_{c\text{out}} / 22,413 \times M_{H_2O} \quad (3)$$

worin  $P_{v\text{cut}}$  den Sättigungsdruck [kPa] darstellt,  $P_{v\text{out}}$  den Druck [kPa] des Kathoden-Abgases darstellt und  $Q_{c\text{out}}$  die Strömungsrate des Kathoden-Abgases [L/s] darstellt.

**[0059]** Der Sättigungsdruck  $P_{v\text{cut}}$  wird durch die nachstehend als Gleichung (4) angegebene Tetens-Gleichung bzw. -Formel bestimmt:

$$\text{Sättigungsdruck } P_{v\text{cut}} = 6,11 \times 10^{\{7,5 \times T / (T + 273,3)\}} / 10 \quad (4)$$

worin T die Temperatur von Kühlwasser [°C] darstellt. Der Erfassungswert des Temperatursensors 52 wird als die Temperatur des Kühlwassers T verwendet. Der Erfassungswert des Druckmessgeräts 45 wird als der Druck  $P_{\text{vout}}$  des Kathoden-Abgases verwendet. Der Wert, welcher durch Subtrahieren eines Betrags an Sauerstoff, welcher durch die Leistungserzeugung in der Brennstoffzelle 20 verbraucht wird, von dem Erfassungswert des Luftströmungsmessers 43 berechnet wird, wird als die Strömungsrate  $Q_{\text{cout}}$  des Kathoden-Abgases verwendet. Der Betrag an Sauerstoff, welcher durch die Leistungserzeugung verbraucht wird, wird aus dem Erfassungswert des Stromsensors 72 berechnet.

**[0060]** Der Betrag  $\Delta C_{\text{lc}}$  an flüssigem abgeleitetem Wasser wird gemäß dem Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld 654 bestimmt, welches die Flüssigwasser-Ableitungscharakteristik relativ zu der Strömungsrate des Oxidationsgases (der Luft) spezifiziert. Das Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld 654 zeigt eine Beziehung des Betrags  $\Delta C_{\text{lc}}$  von abgeleitetem flüssigem Wasser zu dem Schätzwert des Wassergehalts in einem vorhergehenden Zyklus des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert und der Strömungsrate des Oxidationsgases (der Luft) in der Brennstoffzelle 20 in einem aktuellen Zyklus. Das Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld 654 ist insbesondere durch die nachstehend angegebenen Gleichungen (5) und (6) ausgedrückt:

$$y = (C_{\text{lim}} - C_{\text{max}}) \times b / (x - b) + C_{\text{lim}} \quad (5)$$

$$y' = (C_{\text{max}} - C_{\text{lim}}) \times b / (x - b)^2 \quad (6)$$

worin y den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 darstellt, x eine Zeitphase darstellt, wenn das Oxidationsgas (die Luft) strömt,  $C_{\text{max}}$  die vollständige Kapazität des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 darstellt,  $C_{\text{lim}}$  den Grenzwert der Ableitung darstellt und b eine Konstante darstellt, welche den Grad der Veränderung von y definiert. Zusätzlich entspricht  $y'$  einer Gleichung, welche durch Differenzieren von y mit Bezug auf x in Gleichung (5) erhalten wird, bezeichnet die Steigung einer Tangente bei einem vorbestimmten Punkt auf einer hyperbolischen Kurve, welche durch die Gleichung (5) ausgedrückt ist, und entspricht einer Ablassrate bei dem Wassergehalt und der Strömungsrate des Oxidationsgases (der Luft), welche durch den vorbestimmten Punkt spezifiziert sind. Der Betrag  $\Delta C_{\text{lc}}$  von abgeleitetem flüssigem Wasser pro Zeiteinheit ist gleich der Ablassrate.

**[0061]** Fig. 5 ist ein Diagramm, welches die Gleichung (5) mit Bezug auf das Flüssigwasser-Ableitungs-Kennfeld 654 darstellt. Fig. 5 zeigt die Beziehung des Wassergehalts y der Brennstoffzelle 20 zu der Zeitphase x, wenn das Oxidationsgas (die Luft) strömt, mit Bezug auf verschiedene Strömungsraten des Oxidationsgases (der Luft). Der Graph von Fig. 5 basiert auf einem Experiment, welches bewirkt, dass ein nicht befeuchtetes Spülgas (die Luft) mit einer konstanten Strömungsrate über einen Verteiler der Brennstoffzelle 20 in die Brennstoffzelle 20 strömt, welche den Wassergehalt auf dem Niveau der vollständigen Kapazität aufweist. Die Gleichung (5) entspricht einem mathematischen Ausdruck der in Fig. 5 gezeigten hyperbolischen Kurve.

**[0062]** Die vollständige Kapazität  $C_{\text{max}}$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 wird gemäß der Konfiguration der Brennstoffzelle 20, beispielsweise den Raumvolumina der Strömungspfade 7p und 8p in der Brennstoffzelle 20 (in Fig. 4 gezeigt) und dem maximalen Wassergehalt der Membranelektrodenanordnung 4 ermittelt. Der Grenzwert  $C_{\text{lim}}$  der Ableitung bezeichnet einen Grenzwert, welcher irgendeine weitere Reduktion durch die Strömung des Oxidationsgases (der Luft) nicht zulässt und gemäß der Strömungsrate des Oxidationsgases (der Luft) (Erfassungswert durch den Luftströmungsmesser 43 bei dieser Ausführungsform) ermittelt wird. In den Gleichungen (5) und (6) stellt b eine Konstante dar, welche gemäß der Strömungsrate des Oxidationsgases (der Luft) ermittelt wird.

**[0063]** Der Ablauf dieser Ausführungsform ermittelt die Zeitphase x durch Substituieren des Schätzwerts des Wassergehalts in dem vorhergehenden Zyklus des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert bei y von Gleichung (5), wie vorstehend angegebenen, und dieser substituiert anschließend den Werts von x in Gleichung (6), wie vorstehend angegebenen, um die Ablassrate  $y'$  bei dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20, welcher durch den Schätzwert des Wassergehalts in dem vorhergehenden Zyklus spezifiziert wird, zu ermitteln, das heißt, den Betrag  $\Delta C_{\text{lc}}$  an abgeleitetem flüssigem Wasser pro Zeiteinheit. Zu der Zeit (erste Zeit), wenn der Wassergehalt-Schätzvorgang ausgehend von dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz (Schritt S114) hin zu dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert (Schritt S112) gewechselt wird, wird der durch den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz vorgesehene Schätzwert als der Schätzwert des Wassergehalts in dem vorhergehenden Zyklus verwendet.

**[0064]** Die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 berechnet die Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 pro Zeiteinheit gemäß den vorstehend angegebenen Gleichungen (1) bis (6), multipliziert die Variation  $\Delta C$  mit dem Zyklus  $\Delta t$  des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert, addiert das Produkt zu dem Schätzwert des Wassergehalts in dem vorhergehenden Zyklus, um den Wassergehalt des aktuellen Zyklus (des vorliegenden Moments) zu ermitteln, und gibt den ermittelten Wassergehalt des aktuellen Zyklus zu der Wassergehalt-Steuerungsvorrichtung 66 aus. Zu der Zeit (erste Zeit), wenn der Wassergehalt-Schätzvorgang ausgehend von dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz (Schritt S114) hin zu dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert (Schritt S112) gewechselt wird, wird der durch den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz vorge-sehene Schätzwert als der Schätzwert des Wassergehalts in dem vorhergehenden Zyklus verwendet.

#### A5. Vorteilhafte Effekte der Ausführungsform

**[0065]** Wie bekannt ist, steht der Wassergehalt der Brennstoffzelle mit der Impedanz der Brennstoffzelle in Zusammenhang. Im Falle des Abschätzens des Wassergehalts der Brennstoffzelle basierend auf der Impedanz der Brennstoffzelle wird der Wassergehalt basierend auf einer Beziehung zwischen der Impedanz und dem Wassergehalt der Brennstoffzelle, welche im Vorhinein experimentell spezifiziert wird, abgeschätzt. Diese Beziehung steht unter der Annahme einer homogenen Wassergehaltverteilung in der Elektrolytmembran. Bei dem Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran ist es daher wahrscheinlich, dass zwischen dem Schätzwert des Wassergehalts und dem tatsächlichen Wert des Wassergehalts ein großer Fehler vorgesehen wird. Bei dem Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform wird der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 jedoch bei Erfüllung der vorbestimmten Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran 1 auftritt (das heißt, ein Andauern der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  für 5 Sekunden oder länger), basierend auf dem Ausgangsstromwert der Brennstoffzelle 20 abgeschätzt. Das Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran reduziert den Leistungserzeugungsbereich in der Einheitszelle 22 und verringert entsprechend den Ausgangsstromwert. Auch bei dem Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran ermöglicht das Abschätzen des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Ausgangsstromwert, dass der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 geeignet abgeschätzt wird. Im Falle des Abschätzens des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 basierend auf dem Ausgangsstromwert wird der Wassergehalt andererseits durch Berechnen und Aufsummieren der Werte der Mehrzahl von Faktoren, welche zu der Variation  $\Delta C$  des Wassergehalts beitragen, abgeschätzt. Dies summiert ebenso die Fehler der jeweiligen Faktoren auf. Im Falle des Abschätzens des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert für eine lange Zeitphase ist es wahrscheinlich, dass das Kumulieren dieser Fehler den Fehler zwischen dem Schätzwert und dem tatsächlichen Betrag des Wassergehalts erhöht. Das Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform führt jedoch eine Abschätzung des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert durch, wenn ermittelt wird, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt. Die Zeitphase, wenn die Abschätzung des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert durchgeführt wird, ist daher relativ kurz und die Kumulation von Fehlern liegt in einem zulässigen Bereich. Wie vorstehend beschrieben ist, wechselt das Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform zwischen der Abschätzung des Wassergehalts basierend auf der Impedanz und der Abschätzung des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert, basierend auf dem Auftreten oder dem Nicht-Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran. Diese Konfiguration verbessert die Genauigkeit bei der Abschätzung des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 ungeachtet des Ausmaßes des Wassergehalts der Elektrolytmembran 1. Dies resultiert in einer geeigneten Steuerung des Wassergehalts. Im Falle des Ermitteln der Beendigung des Spülvorgangs gemäß dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 ermöglicht diese Konfiguration eine geeignete Steuerung der Zeit des Spülvorgangs.

**[0066]** Hinsichtlich der Beziehung der Impedanz der Brennstoffzelle 20 zu dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 stehen in dem Fall, bei welchem die Elektrolytmembran 1 der Brennstoffzelle 20 als Ganzes relativ ausgetrocknet ist (das heißt, einen niedrigen Wassergehalt aufweist), sowohl die Hochfrequenzimpedanz als auch die differenzielle Impedanz in einem richtigen Zusammenhang mit dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20. In dem Fall, bei welchem die Elektrolytmembran 1 einen relativ hohen Wassergehalt aufweist, besitzt die Hochfrequenzimpedanz andererseits im Vergleich zu der differenziellen Impedanz keine hohe Genauigkeit der Beziehung zu dem Wassergehalt der Brennstoffzelle 20. Das Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform schätzt den Wassergehalt jedoch basierend auf der differenziellen Impedanz ab. Diese Konfiguration ermöglicht es, dass der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 ungeachtet des Ausmaßes des Wassergehalts der Elektrolytmembran 1 (mit Ausnahme eines lokalen Austrocknens) im Vergleich zu der Abschätzung des Wassergehalts basierend auf der Hochfrequenzimpedanz mit hoher Genauigkeit abgeschätzt wird.

**[0067]** Eine verfügbare Technologie zum Abschätzen des Wassergehalts der Brennstoffzelle basierend auf der Impedanz mit einer hohen Genauigkeit auch bei dem Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran kann die Einheitszelle in eine Mehrzahl von Teilbereichen aufteilen und den Wassergehalt basierend auf der Impedanz in jedem der Teilbereiche abschätzen. Diese Technologie kann den Wassergehalt durch Berücksichtigen des Zustands eines lokalen Austrocknens abschätzen, diese erfordert jedoch Sensoren zum Messen der Impedanz in den jeweiligen Teilbereichen. Dies resultiert in einer Verkomplizierung der Gestaltung, einer Zunahme der Gesamtanzahl an Komponenten und einer Zunahme der Montagezeit, wodurch die Gesamtkosten steigen. Das Brennstoffzellensystem 100 der Ausführungsform kann den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 andererseits auch beim Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran ohne das Erfordernis zusätzlicher Sensoren mit hoher Genauigkeit abschätzen. Dies resultiert in einer Reduktion einer Kostenzunahme und dergleichen.

#### B. Zweite Ausführungsform

**[0068]** Fig. 6 ist ein Flussdiagramm, welches einen Ablauf eines Wassergehalt-Schätzvorgangs bei einem Brennstoffzellensystem gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt. Der Ablauf der zweiten Ausführungsform (in Fig. 6 gezeigt) führt die Schritte S116A und S118A anstelle der Schritte S116 und S118 nach der Verarbeitung der bei der ersten Ausführungsform beschriebenen Schritte S102 bis S112 (in Fig. 3 gezeigt) durch. Mit anderen Worten, diese Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform durch das Kriterium zum Ermitteln der Beendigung des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert, das heißt, zum Ermitteln eines Wechsels hin zu dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz.

**[0069]** Bei Schritt S116A berechnet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Luftstöchiometrieverhältnis, wie bei Schritt S106, und ermittelt, ob das Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  ist. Wenn ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  ist, schreitet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S118A voran. Wenn andererseits ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  ist, kehrt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S112 zurück, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert durchzuführen. Wenn nach dem Wechsel des Wassergehalt-Schätzvorgangs ausgehend von dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz (Schritt S114) hin zu dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert (Schritt S112) zum ersten Mal ermittelt wird, dass das Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  ist, startet die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Zählen einer dritten Ablaufzeit  $t_3$ .

**[0070]** Bei Schritt S118A ermittelt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65, ob  $t_3 \geq 10$  [s] ist. Wenn ermittelt wird, dass  $t_3 \geq 10$  [s] ist, stoppt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Zählen der dritten Ablaufzeit  $t_3$  (zurückstellen  $t_3 = 0$ ) und kehrt zu Schritt S102 zurück. Mit anderen Worten, die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 beendet den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert. Wenn andererseits ermittelt wird, dass  $t_3 < 10$  [s] ist, kehrt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 zu Schritt S112 zurück, um den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert durchzuführen.

**[0071]** Die zweite Ausführungsform verwendet das Andauern der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  für 10 Sekunden oder länger (Ja bei den Schritten S116A und S118A) als die Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist. Mit anderen Worten, die Bedingungen der Schritte S116A und S118A dieser Ausführungsform entsprechen der zweiten Bedingung in den Ansprüchen.

**[0072]** In dem Fall, bei welchem die Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $< 3$  für 10 Sekunden oder länger andauert, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran 1 beseitigt ist. Ebenso wie das Brennstoffzellensystem 100 der ersten Ausführungsform führt das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz durch, wenn eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran 1 beseitigt ist. Die Konfiguration der zweiten Ausführungsform schätzt den Wassergehalt durch Auswählen des geeigneten Schätzverfahrens des Wassergehalts basierend auf dem Auftreten oder dem Nicht-Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran 1 ab. Dies verbessert die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts. Die bei den Schritten S116A und S118A verwendeten Referenzwerte entsprechen Werten, welche experimentell als die Bedingung ermittelt werden, die angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, und diese können beispielsweise gemäß der Konfiguration des Brennstoffzellensystems 100 geeignet eingestellt sein.

## C. Modifikationen

**[0073]** Die Erfindung ist nicht auf irgendeine bzw. irgendeines der Ausführungsformen und der Beispiel, wie vorstehend beschrieben, beschränkt, sondern diese kann durch eine Vielzahl von weiteren Konfigurationen implementiert werden, ohne von dem Schutzzumfang der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können die technischen Merkmale von einer bzw. einem der Ausführungsformen und der Beispiele gemäß den technischen Merkmalen von jedem der in der Kurzfassung beschriebenen Aspekten geeignet ersetzt oder kombiniert werden, um einen Teil oder die Gesamtheit der vorstehend beschriebenen Probleme zu lösen oder um einen Teil oder die Gesamtheit der vorstehend beschriebenen vorteilhaften Effekte zu erreichen. Auf irgendeines der technischen Merkmale kann geeignet verzichtet werden, solange das technische Merkmal hierin nicht als essenziell beschrieben ist. Einige Beispiele von möglichen Modifikationen sind nachstehend angegeben.

(1) Gemäß der vorstehenden Ausführungsform schätzt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 basierend auf der differentiellen Impedanz der Brennstoffzelle 20 ab. Gemäß einer Modifikation kann der Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 basierend auf der Hochfrequenzimpedanz abgeschätzt werden. Die Verwendung der differentiellen Impedanz erhöht die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts jedoch wirkungsvoller.

(2) Das Schätzverfahren des Wassergehalts basierend auf dem Ausgangsstromwert ist nicht auf die vorstehende Ausführungsform beschränkt, sondern kann irgendeinem Schätzverfahren durch Berücksichtigen zumindest des Betrags  $\Delta C_g$  von erzeugtem Wasser entsprechen. Dies liegt daran, da die Effekte der Faktoren bei der Variation des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 in der Reihenfolge des Betrags  $\Delta C_g$  an erzeugtem Wasser, des Betrags  $\Delta C_v$  von ausströmendem Dampf, des Betrags  $\Delta C_{lc}$  von abgeleittem flüssigem Wasser und des Betrags  $\Delta C_t$  einer Wasserbewegung ausgehend von der Kathode 2 hin zu der Anode 3 abnehmen. Beispielsweise kann der Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert bei der vorstehenden Ausführungsform zusätzlich den Betrag  $\Delta C_t$  der Wasserbewegung berücksichtigen oder dieser kann zusätzlich ein Einströmen und ein Ausströmen von Wasser auf der Seite der Anode 3 berücksichtigen. Beispielsweise kann irgendeines der verschiedenen Verfahren, welche in der JP 5482897 beschrieben sind, eingesetzt werden, um den Wassergehalt der Brennstoffzelle 20 abzuschätzen.

(3) Die vorstehende Ausführungsform stellt die Konfiguration des Überlagerns des Impedanz-Messsignals bei dem Ziel-Ausgangsspannungssignal und des Zuführens eines AC-Stroms hin zu der Brennstoffzelle 20 dar. Die Konfiguration zum Messen der Impedanz ist jedoch nicht auf die vorstehende Ausführungsform beschränkt. Beispielsweise kann die Konfiguration eine separate Impedanz-Messeinheit umfassen, welche einen AC-Strom hin zu der Brennstoffzelle 20 führt, um die Impedanz zu messen.

(4) Die vorstehende Ausführungsform verwendet ein Andauern der Beziehung Luftstöchiometrieverhältnis  $\geq 3$  für 5 Sekunden oder länger als die Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran 1 auftritt (Schritte S108 und S110). Diese Referenzwerte sind jedoch nicht auf diese bei der vorstehenden Ausführungsform beschränkt, sondern können beispielsweise gemäß der Gestaltung des Brennstoffzellensystems 100 geeignet eingestellt sein. Beispielsweise kann der Referenzwert des Luftstöchiometrieverhältnisses (gemäß dem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis in den Ansprüchen) auf 2,0, 2,5 oder 3,5 eingestellt sein, und die Zeit des Andauerns (erste Ablaufzeit) kann auf 10 Sekunden oder länger oder 15 Sekunden oder länger eingestellt sein. Zusätzlich kann der Referenzwert des Luftstöchiometrieverhältnisses gemäß der Temperatur der Brennstoffzelle 20 verändert werden. Die Elektrolytmembran 1 wird wahrscheinlich bei der hohen Temperatur der Brennstoffzelle 20 (durch die Temperatur des Kühlwassers angenähert) ausgetrocknet. Daher besteht entsprechend eine Wahrscheinlichkeit, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran 1 auch bei dem niedrigen Luftstöchiometrieverhältnis auftritt. Daher kann bei der hohen Temperatur der Brennstoffzelle 20 der kleine Wert für den Referenzwert des Luftstöchiometrieverhältnisses eingestellt sein. Andererseits ist es unwahrscheinlich, dass die Elektrolytmembran 1 bei der niedrigen Temperatur der Brennstoffzelle 20 ausgetrocknet wird. Daher kann bei der niedrigen Temperatur der Brennstoffzelle 20 der größere Wert für den Referenzwert des Luftstöchiometrieverhältnisses eingestellt sein. Die Konfiguration zum Verändern des Referenzwerts des Luftstöchiometrieverhältnisses gemäß der Temperatur der Brennstoffzelle 20 erhöht die Ermittlungsgenauigkeit dahingehend, ob ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt oder nicht, wodurch die Genauigkeit der Abschätzung des Wassergehalts erhöht bzw. verbessert wird.

(5) Gemäß der vorstehenden Ausführungsform wechselt die Wassergehalt-Schätzvorrichtung 65 das Schätzverfahren des Wassergehalts der Brennstoffzelle 20 zwischen dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz und dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstrom-

wert, basierend auf dem Auftreten oder dem Nicht-Auftreten eines lokalen Austrocknens der Elektrolytmembran. Eine Modifikation kann eine zusätzliche Bedingung zum Wechseln des Schätzverfahrens des Wassergehalts verwenden. Beispielsweise kann der modifizierte Ablauf auch bei einer Erfüllung der Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, in dem Fall, bei welchem eine zusätzliche vorbestimmte Bedingung erfüllt ist, das Schätzverfahren nicht hin zu dem Wassergehalt-Schätzverfahren basierend auf der Impedanz wechseln, sondern den Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert fortsetzen. Bei einem weiteren Beispiel kann der modifizierte Ablauf auch bei einer Erfüllung der Bedingung, welche angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, in dem Fall, bei welchem eine zusätzliche vorbestimmte Bedingung erfüllt ist, einen dritten Wassergehalt-Schätzvorgang durchführen, welcher sich von sowohl dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf der Impedanz als auch dem Wassergehalt-Schätzvorgang basierend auf dem Ausgangsstromwert unterscheidet.

(6) Bei Schritt S116 bei der vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsform wird der kumulierte Stromwert durch das Produkt des Erfassungswerts des Ausgangsstroms [A] durch den Stromsensor 72 und der zweiten Ablaufzeit  $t_2$  [s] angenähert. Gemäß einer Modifikation kann der kumulierte Stromwert durch eine Summe aus dem Produkt des erfassten Ausgangsstromwerts und dem Zyklus  $\Delta t$  der Wiederholung des Wassergehalt-Schätzvorgangs basierend auf dem Ausgangsstromwert mit Bezug auf die zweite Ablaufzeit  $t_2$  ermittelt werden.

### Patentansprüche

#### 1. Brennstoffzellensystem (100), aufweisend:

eine Brennstoffzelle (20) mit einer Elektrolytmembran; und

eine Wassergehalt-Schätzvorrichtung (65), welche derart konfiguriert ist, dass diese einen ersten Wassergehalt-Schätzvorgang durchführt, welcher einen Wassergehalt der Brennstoffzelle (20) basierend auf einer differentiellen Impedanz oder einer Hochfrequenzimpedanz abschätzt, wobei die differentielle Impedanz einer Differenz zwischen einer Niedrigfrequenzimpedanz und der Hochfrequenzimpedanz der Brennstoffzelle (20) entspricht, wobei

die Wassergehalt-Schätzvorrichtung (65) nach der Erfüllung einer ersten Bedingung bis zur Erfüllung einer zweiten Bedingung einen zweiten Wassergehalt-Schätzvorgang anstelle des ersten Wassergehalt-Schätzvorgangs durchführt, welcher den Wassergehalt der Brennstoffzelle (20) basierend auf einem Ausgangsstromwert der Brennstoffzelle (20) abschätzt, wobei die zweite Bedingung angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran beseitigt ist, und die erste Bedingung angibt, dass ein lokales Austrocknen der Elektrolytmembran auftritt, wobei

die erste Bedingung darin liegt, dass ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis größer oder gleich einem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist, welcher größer als ein Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis während eines herkömmlichen Betriebs des Brennstoffzellensystems (100) ist, wobei das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis einem Verhältnis eines tatsächlichen Zufuhrbetrags eines Oxidationsgases zu einem theoretisch erforderlichen Zufuhrbetrag des Oxidationsgases bei dem Brennstoffzellensystem (100) entspricht, und dass eine erste Ablaufzeit ausgehend davon, dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis größer oder gleich dem Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert wird, verstrichen ist, und

die zweite Bedingung darin liegt, dass ein kumulierter Stromwert durch eine Kumulation des Ausgangsstromwerts der Brennstoffzelle (20) für eine zweite Ablaufzeit ausgehend von der Erfüllung der ersten Bedingung größer oder gleich einem Referenzwert des kumulierten Stromwerts ist oder dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis kleiner als der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert ist und dass eine dritte Ablaufzeit ausgehend davon, dass das Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis kleiner als der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert wird, verstrichen ist.

2. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 1, wobei der Oxidationsgas-Stöchiometrieverhältnis-Referenzwert gemäß der Temperatur der Brennstoffzelle (20) verändert wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

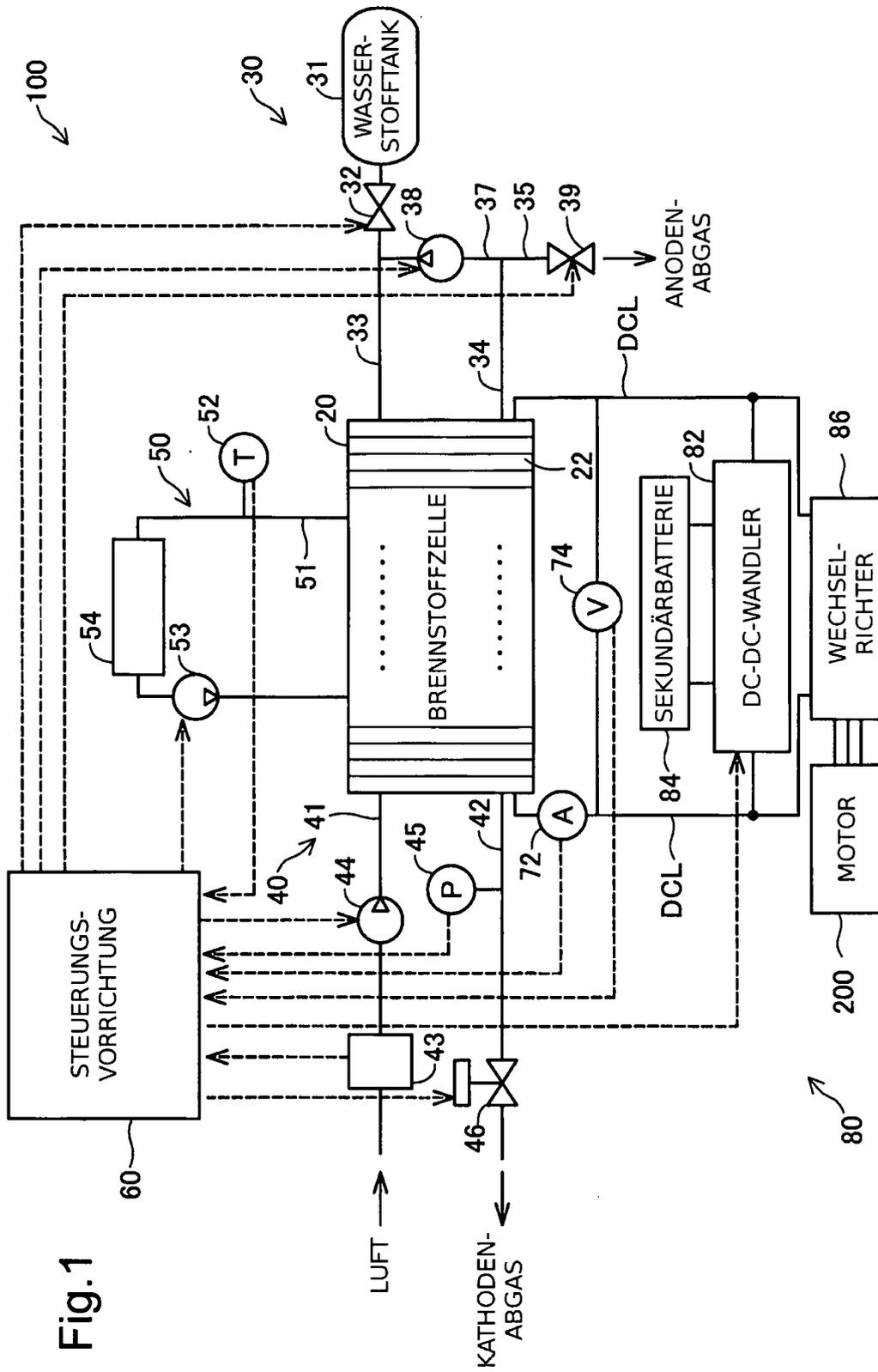


Fig.1

Fig.2

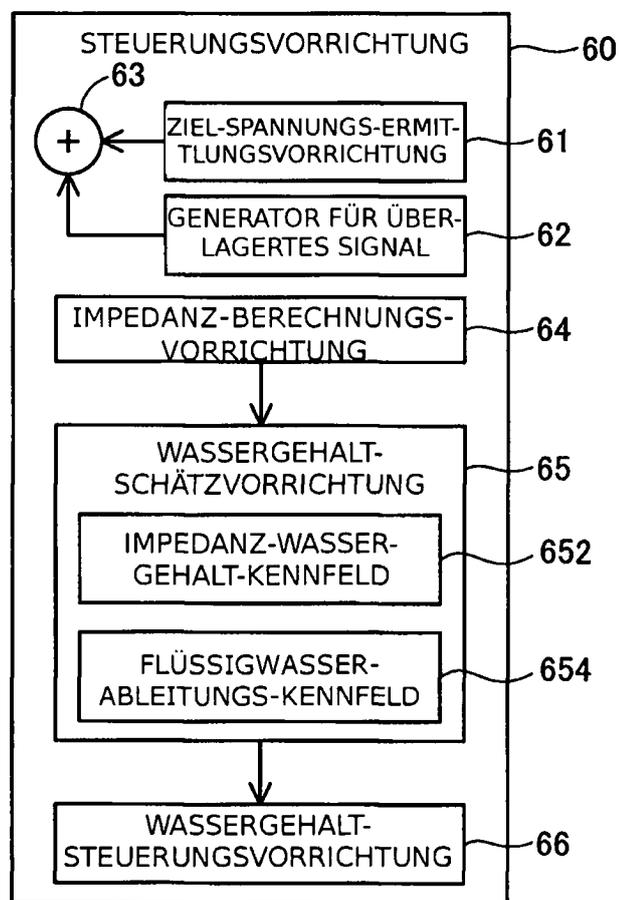


Fig.3

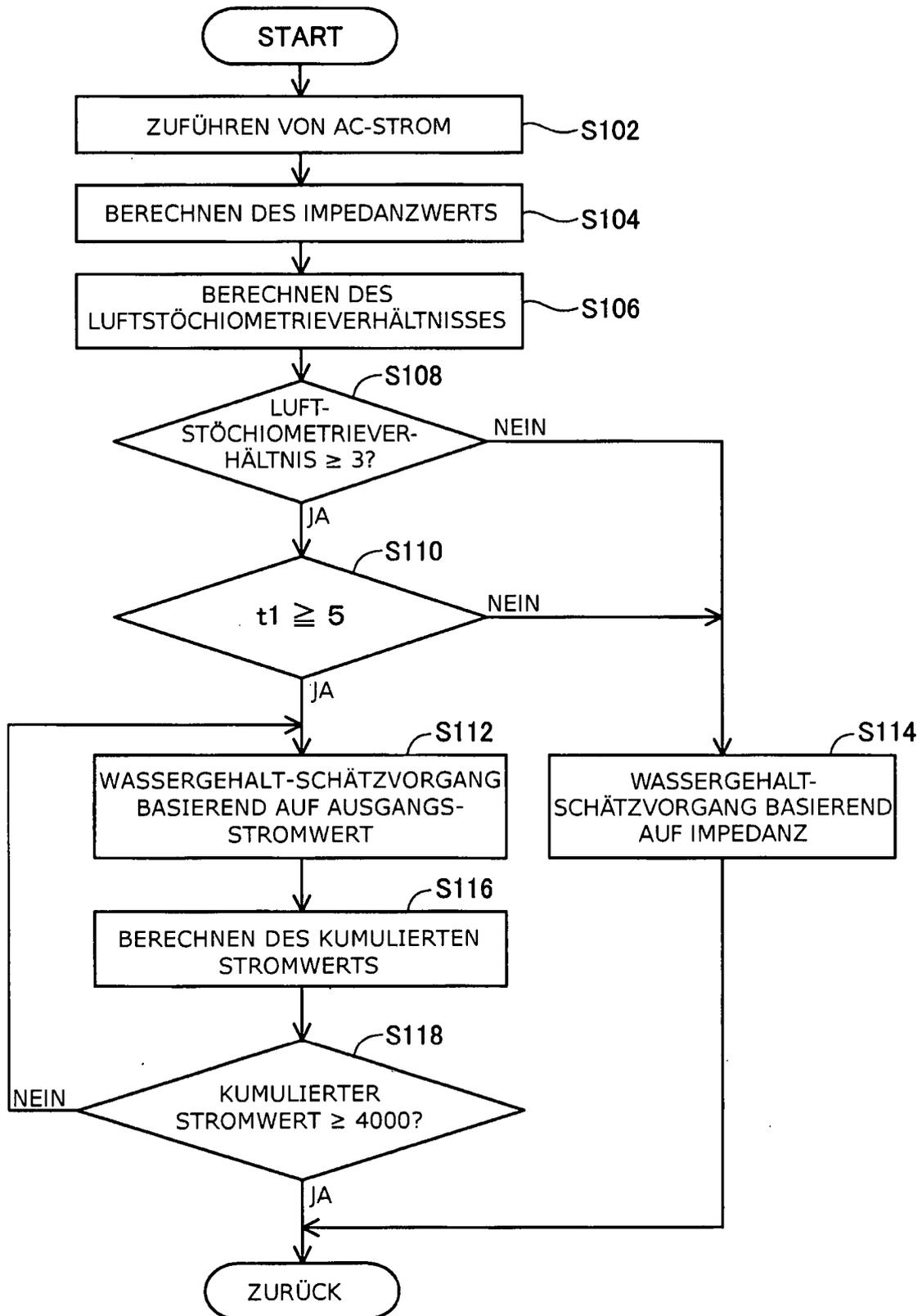
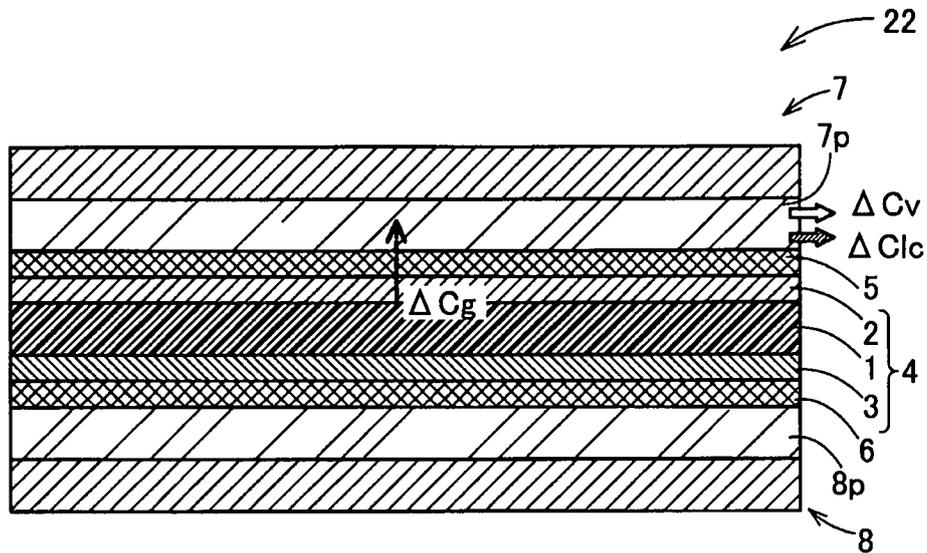


Fig.4



VARIATION DES KATHODENSEITIGEN WASSERGEHALTS  
 $\Delta C = \Delta C_g - \Delta C_v - \Delta C_{lc}$

$\Delta C_g$  : BETRAG DES ERZEUGTEN WASSERS

$\Delta C_v$  : BETRAG DES AUSSTRÖMENDEN DAMPFS

$\Delta C_{lc}$  : BETRAG DES ABGELEITETEN FLÜSSIGEN WASSERS

Fig.5

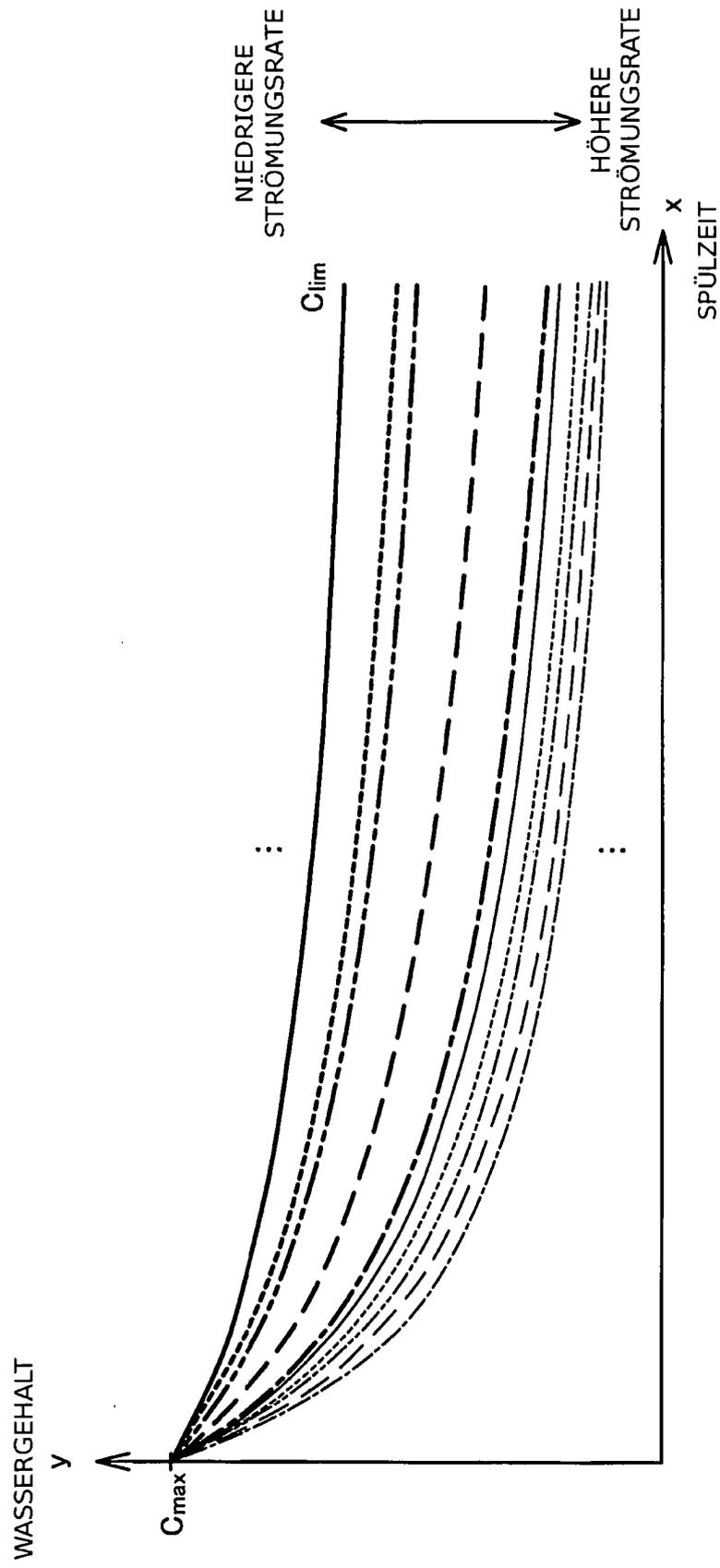


Fig.6

