

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Juli 2022 (21.07.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/150862 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2022/060007

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Januar 2022 (12.01.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A50009/2021 13. Januar 2021 (13.01.2021) AT

(71) Anmelder: AVL LIST GMBH [AT/AT]; Hans-List-Platz
1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: WEINGRILL, Katharina; Traungauergasse
7/57, 8020 Graz (AT). ALDRIAN, David; Traungauergas-
se 7/57, 8020 Graz (AT).

(74) Anwalt: WIETZKE, Andreas; Mathys & Squire, Theati-
nerstr. 7, 80333 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: TEST METHOD FOR TESTING A DISCONNECTION FUNCTION OF A MAIN SWITCH DEVICE OF AN ELECTRICAL CONNECTION DEVICE OF A FUEL CELL SYSTEM

(54) Bezeichnung: PRÜFVERFAHREN ZUM PRÜFEN EINER TRENNFUNKTIONALITÄT EINER
HAUPTSCHALTVORRICHTUNG EINER ELEKTRISCHEN VERBINDUNGSVORRICHTUNG EINES
BRENNSTOFFZELLENSYSTEMS

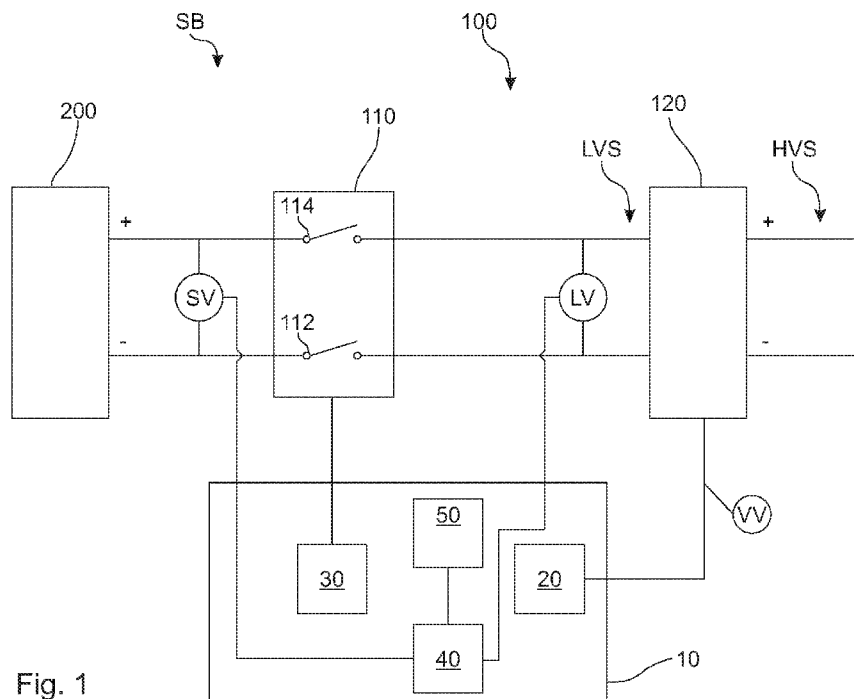


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a test method for testing the disconnection function of a main switch device (110) of an electrical connection device (100) of a fuel cell system (200), the method having the following steps: generating a voltage variation (W) on the low-voltage side (LVS) of a transformer device (120), connecting a negative main switch (112) of the main switch device (110); detecting a voltage difference (VD) between a low voltage (LV) of the low-voltage side (LVS) of the transformer device (120) and a system voltage (SV) of the fuel cell system (200); comparing the voltage difference (VD) detected with a zero value (NW).



WO 2022/150862 A2



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Prüfverfahren zum Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung (110) einer elektrischen Verbindungsvorrichtung (100) eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend die folgenden Schritte: Erzeugung einer Spannungsvariation (W) auf der Niederspannungs-Seite (LVS) einer Transformatorvorrichtung (120), Schalten eines negativen Hauptschalters (112) der Hauptschaltevorrichtung (110), Erfassen einer Spannungsdifferenz (VD) zwischen einer Niederspannung (LV) der Niederspannungs-Seite (LVS) der Transformatorvorrichtung (120) und einer Systemspannung (SV) des Brennstoffzellensystems (200), Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz (VD) mit einem Nullwert (NW).

Prüfverfahren zum Prüfen einer Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung einer elektrischen Verbindungsvorrichtung eines Brennstoffzellensystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Prüfverfahren zum Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung einer elektrischen Verbindungsvorrichtung eines Brennstoffzellensystems, ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle zur Ausführung eines solchen Verfahrens auf einem Computer sowie eine Prüfvorrichtung für ein Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung einer elektrischen Verbindungsvorrichtung eines Brennstoffzellensystems.

Es ist bekannt, dass Brennstoffzellensysteme für die lokale Erzeugung von elektrischem Strom eingesetzt werden. Um im Startbetrieb, im Normalbetrieb oder im Abschaltbetrieb den erzeugten Strom weiter zu verteilen, sind üblicherweise elektrische Verbindungsvorrichtungen vorgesehen, welche die erzeugte elektrische Energie an entsprechende elektrische Nutzer weitergeben. Dabei kann es sich um ein angeschlossenes elektrisches Netzwerk oder um dezentrale elektrische Nutzer, wie beispielsweise mobil genutzte Elektromotoren, handeln. Auch ist es bekannt, dass für das Erzeugen eines elektrisch gesicherten Zustandes bei ausgeschalteten Brennstoffzellensystemen eine Hauptschaltvorrichtung vorgesehen ist, um die elektrische Last und/oder das elektrische Netz in elektrischer Weise von dem Brennstoffzellensystem zu trennen. Solche bekannten Hauptschaltvorrichtungen sind üblicherweise mit zwei Hauptschaltern, nämlich einem negativen Hauptschalter für den negativen Pol und einem positiven Hauptschalter für den positiven Pol des Brennstoffzellensystems ausgestattet.

Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass der Aufwand zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit der Hauptschaltvorrichtung relativ hoch ist.

Es ist 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 defekte Trennfunktionalität einer solchen Hauptschaltvorrichtung zu erkennen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst von einem Prüfverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einem Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des

Anspruchs 11 sowie einer Prüfvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 12. 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 Prüfverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäßer Kerngedanke ist ein Prüfverfahren zum Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung einer elektrischen Verbindungsvorrichtung eines Brennstoffzellensystems. Ein solches Prüfverfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Erzeugung einer Spannungsvariation auf der Niederspannungs-Seite einer Transformatorvorrichtung,
- Schalten eines negativen Hauptschalters der Hauptschaltevorrichtung,
- Erfassen einer Spannungsdifferenz zwischen einer Niederspannung der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung und einer Systemspannung des Brennstoffzellensystems,
- Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz mit einem Nullwert.

Erfindungsgemäß wird ein Prüfverfahren vorgeschlagen, welches auf Basis bestehender Systeminformationen durchgeführt werden kann. Üblicherweise ist sowohl auf der Ausgangsseite des Brennstoffzellensystems als auch auf der Niederspannungs-Seite der nachgeordneten Transformatorvorrichtung eine Spannungsüberwachung angeordnet. Bei der normalen Betriebsweise wird auf diese Weise sichergestellt, welche Ausgangsspannung aktuell in der Betriebssituation vom Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt wird und welche Eingangsspannung der nachgeordneten Transformatorvorrichtung zugeführt wird. Dies kann zur Kontrolle des Brennstoffzellensystems und/oder zur Kontrolle der Transformatorvorrichtung eingesetzt werden. In erfindungsgemäßer Weise werden diese Spannungsinformationen nun in zusätzlicher Weise durch eine definierte Schaltreihenfolge in der Hauptschaltvorrichtung verwendet.

Erfindungsgemäß wird es nun möglich, die Hauptschaltvorrichtung zeitversetzt zu schalten, also insbesondere zuerst nur den negativen Hauptschalter zu schalten. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren sowohl für den Startbetrieb, also beim Einschalten der Hauptschaltvorrichtung, als auch beim Abschaltbetrieb und demnach beim Ausschalten der Hauptschaltvorrichtung in identischer Weise durchgeführt werden kann. Die Auswertung unterscheidet sich dabei jedoch beim Startbetrieb und beim Abschaltbetrieb.

In einem ersten Schritt wird bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bewusst eine Spannungsvariation auf der Niederspannungs-Seite einer Transformatorvorrichtung erzeugt. Diese Spannungsvariation kann auch als Prüf-Spannungsvariation bezeichnet werden, da sie im normalen Betrieb nicht auftreten würde, sondern aktiv in die Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung eingebracht wird. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass von der Hochspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung, einer separaten Stromversorgung oder aber auch durch eine Variation der Betriebsweise des Brennstoffzellensystem im Abschaltbetrieb, eine entsprechende Veränderung der Niederspannung auf der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung erzeugt wird. Sobald diese Spannungsvariation zur Verfügung gestellt worden ist, wird anschließend der negative Hauptschalter der Hauptschaltvorrichtung geschaltet.

Unter einem Schalten eines der beiden Hauptschalter ist ein Umschalten des Schaltzustandes zu verstehen. Beim Startbetrieb wird der negative Hauptschalter aus der geöffneten Position in die geschlossene Position bewegt, während beim Abschaltvorgang bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei diesem Schritt ein geschlossener negativer Hauptschalter in seine geöffnete Position geschaltet wird. Das Schalten des negativen Hauptschalters und damit das Ändern des Schaltzustandes dieses negativen Hauptschalters führt nun dazu, dass im Startbetrieb ein Pol der elektrischen Verbindungsvorrichtung eingeschaltet und beim Abschaltbetrieb ein Pol der Hauptschaltvorrichtung ausgeschaltet wird. Das Schalten des negativen Hauptschalters führt also dazu, dass in beiden Fällen, also sowohl im Startbetrieb als auch im Abschaltbetrieb, nur ein einziger der beiden elektrischen Leiter eine Verbindung zwischen dem Brennstoffzellensystem und der Transformatorvorrichtung herstellt.

Sofern in dieser Situation die Trennfunktionalität der beiden Hauptschalter funktionsfähig ist, bedeutet dies, dass der andere Hauptschalter seine vorherige Schaltposition beibehält. Im Startbetrieb sind vor dem erfindungsgemäßen Verfahren beide Hauptschalter ausgeschaltet, sodass der negative Hauptschalter eingeschaltet und der positive Hauptschalter ausgeschaltet ist. In einem solchen Fall entsteht durch das Einschalten des negativen Hauptschalters keine Änderung in der elektrischen Verbindungssituation, sodass die aufgeprägte Spannungsvariation bestehen bleibt. In einem solchen Fall während des Startbetriebes wird also eine Spannungsdifferenz erkennbar zwischen der Niederspannung mit der aufgebrachten Spannungsvariation auf der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung und einer sich noch bei Null befindlichen Systemspannung des Brennstoffzellensystems.

Ist hier keine Spannungsdifferenz zu erkennen, kann der Grund nur darin liegen, dass der positive Hauptschalter in unerwünschter Weise keine Trennfunktionalität bietet, sondern vielmehr sich in unerwarteter Weise schon in einer geschlossenen Situation befindet. In diesem Fall bewirkt das Schalten des negativen Hauptschalters ein vollständiges Schließen der elektrischen Verbindung zwischen dem Brennstoffzellensystem und der Transformatorvorrichtung, welches wiederum zu einem Spannungsausgleich führt, sodass als Spannungsdifferenz ein Nullwert erfasst wird.

Im Abschaltbetrieb geht ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren von geschlossenen Hauptschaltern aus. Die Veränderung der Schaltposition des negativen Hauptschalters führt also zum Öffnen dieses negativen Hauptschalters, sodass nur mehr der positive Hauptschalter in dem geschlossenen Schaltzustand verbleibt. Sofern die Trennfunktionalität gegeben ist, führt dies dazu, dass die aufgeprägte Spannungsdifferenz bestehen bleibt, da durch den geöffneten negativen Hauptschalter kein Spannungsausgleich mehr erfolgen kann. Ist jedoch das Öffnen des negativen Hauptschalters nicht erfolgreich, beispielsweise durch ein unerwünschtes Verkleben oder Verschweißen des negativen Hauptschalters, so bleibt die elektrisch leitende Verbindung zwischen Brennstoffzellensystem und Transformatorvorrichtung bestehen, ein Spannungsausgleich kann stattfinden und als Spannungsdifferenz wird der Nullwert erkannt.

In beiden Fällen, also im Startbetrieb wie auch im Abschaltbetrieb wird ein Vergleich einer erfassten Spannungsdifferenz mit einem Nullwert ein Ergebnis liefern, ob die Trennfunktionalität gegeben ist oder nicht. Wird als Spannungsdifferenz der Nullwert erkannt, so entspricht dies in den beiden beschriebenen Versionen einem Fehlerfall, also einer nicht gegebenen Trennfunktionalität des negativen Hauptschalters und/oder des positiven Hauptschalters (im Startbetrieb). Wird als Spannungsdifferenz ein Wert unterschiedlich vom Nullwert erkannt, so kann von einer funktionsfähigen Trennfunktionalität ausgegangen werden.

Im Gegensatz zu bekannten Lösungen, bei welchem eine solche Prüffunktionalität durch separate Bauteile erfolgen musste, kann ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren nun kostengünstig und einfach auf der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung eingesetzt werden.

Insbesondere kann auf bestehende Spannungsinformationen des Brennstoffzellensystems und der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung zurückgegriffen werden. Ein weiterer Vorteil eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens liegt darin, dass es in seiner grundsätzlichen Konzeption sowohl für den Startbetrieb als auch für den Abschaltbetrieb eingesetzt werden kann. Es ist also ohne neue Hardware für die Sonderbetriebssituationen des Einschaltens und des Ausschaltens mit einer identischen Auswertmöglichkeit in Form des Vergleichs der erfassten Spannungsdifferenz mit einem Nullwert durchführbar.

Dabei sei noch darauf hingewiesen, dass ein Nullwert im Sinne der vorliegenden Erfindung für die Spannungsdifferenz insbesondere 0 Volt oder im Wesentlichen 0 Volt darstellt. Jedoch kann grundsätzlich auch ein anderer Basiswert als Nullwert im Sinne der vorliegenden Erfindung verstanden werden, welcher insbesondere größer als 0 Volt ausgebildet sein kann.

Die Transformatorvorrichtung ist bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren insbesondere als DC/DC-Wandler ausgebildet, welcher in der Lage ist, die Niederspannung des Brennstoffzellensystems auf eine Hochspannung eines nachgelagerten Verbrauchers und/oder elektrischen Netzes zu transformieren.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei einem Startbetrieb des Brennstoffzellensystems die Spannungsvariation erzeugt wird durch ein Aufladen der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung,

insbesondere von einer Hochspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung und/oder mittels einer Niederspannungsversorgung der Transformatorvorrichtung. Darunter ist insbesondere der Startbetrieb eines erfindungsgemäßen Verfahrens zu verstehen und ein sogenannter Vorladezustand oder Precharge-Zustand erreichbar. Von der Hochspannungs-Seite, also beispielsweise von einer dort angeordneten Batterievorrichtung, einer entsprechenden Kompensatorvorrichtung oder einem elektrischen Netzwerk ist es nun möglich, über eine Rücktransformation durch eine bidirektional wirksame Transformatorvorrichtung die Niederspannungs-Seite vorzuladen und auf diese Weise einen Spannungsüberschuss für die gewünschte notwendige Spannungsvariation zur Verfügung zu stellen. Im Startbetrieb wird dabei auf der Niederspannungs-Seite insbesondere von einem Nullwert von 0 Volt ausgegangen. Die Verwendung einer separaten Niederspannungsversorgung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn entweder auf der Hochspannungs-Seite im ausgeschalteten Zustand des Brennstoffzellensystems keine Spannung vorhanden ist oder aber die Spannung auf dieser Seite für die benötigte Spannungsvariation nicht ausreicht. Vor allem dann, wenn die Transformatorvorrichtung auch für den regulären Betrieb eine eigene Stromversorgung aufweist, kann diese Stromversorgung für die Spannungsvariation in erfindungsgemäßer Weise eingesetzt werden.

Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren die Spannungsvariation von einem Nullwert erfolgt. Auch dies geschieht insbesondere im Startbetrieb, wobei dieser Nullwert insbesondere ein identischer Nullwert ist, wie er für den Vergleichsschritt des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens eingesetzt wird. Die Spannungsvariation erfolgt also insbesondere von 0 Volt oder im Wesentlichen 0 Volt.

Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei einem Abschaltbetrieb des Brennstoffzellensystems die Spannungsvariation erzeugt wird durch ein Herunterfahren der Stromerzeugung durch das Brennstoffzellensystem, insbesondere mittels Reduktion oder Abschalten einer Gaszufuhr zum Brennstoffzellensystem. Während im Startbetrieb eine Spannungsvariation durch externes Zuführen und damit eine Spannungserhöhung erzielt werden kann, wird ein Abschaltbetrieb von einer normalen Regelbetriebsweise des Brennstoffzellensystems ausgehen. Der Abschaltbetrieb startet also sowohl in Form einer formalen Abschaltung als auch in Form einer Notabschaltung, von einer

entsprechenden Systemspannung, die ungleich 0 Volt ist. Für die Spannungsvariation kann hier beispielsweise die Betriebsweise des Brennstoffzellensystems verändert werden, sodass insbesondere mittels Reduktion oder Abschalten der Gaszufuhr die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems im Ergebnis sinkt. Insbesondere kann die Luftzufuhr reduziert oder sogar gänzlich abgeschaltet werden, sodass der Brennstoffzellenbetrieb im Brennstoffzellensystem über eine gewisse Abschaltdauer zum Stillstand kommt. Während dieser Abschaltvorgänge sinkt die Systemspannung des Brennstoffzellensystems, sodass sich bei komplett eingeschalteter Hauptschaltvorrichtung auch die Niederspannung auf der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung sinkt. Diese Spannungsvariation geht also nicht mehr vom Nullwert, sondern von einem Basiswert in Form der Betriebsspannung der Systemspannung aus. Die Prüfweise und das Prüfergebnis entsprechen jedoch dem grundsätzlichen Vorgehen im Startbetrieb.

Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren die Schaltstellung eines positiven Hauptschalters der Hauptschaltvorrichtung nach dem Schalten des negativen Hauptschalters für eine Schaltversatzdauer beibehalten wird. Diese Schaltversatzdauer kann auch als Prüfdauer bezeichnet werden und kann beispielsweise circa 20 ms betragen. Die Schaltversatzdauer ist insbesondere lang genug, um das erfindungsgemäße Prüfverfahren durchzuführen und kurz genug, um bei einer fehlerfreien Trennfunktionalität ein elektrisches Verbinden mit der elektrischen Verbindungsvorrichtung schnell zur Verfügung zu stellen. Die Schaltversatzdauer kann also als Prüfzeit oder Sicherheitszeit verstanden werden. Diese Schaltversatzdauer ist insbesondere für den Startbetrieb und den Abschaltbetrieb identisch oder im Wesentlichen identisch.

Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei einer erfassten Spannungsdifferenz, welche dem Nullwert entspricht oder im Wesentlichen entspricht, ein Fehlerfall erkannt wird. Wie bereits einleitend erläutert worden ist, ist ein erfindungsgemäßes Verfahren für eine Fehlererkennung bei nicht vorhandener Spannungsdifferenz ausgelegt. Dies gilt vorzugsweise sowohl für den Abschaltbetrieb als auch für den Startbetrieb. Wird trotz Spannungsvariation im Startbetrieb beim Ändern des Schaltzustandes in Form eines Einschaltens des negativen Hauptschalters keine Spannungsdifferenz erkannt, so kann der Grund nur darin liegen, dass der positive Schalter in unerwünschter Weise

ebenfalls in dem eingeschalteten Schaltzustand vorliegt. Da der Startbetrieb von einem ausgeschalteten Brennstoffzellensystem ausgeht, kann dies nur durch eine defekte Trennfunktionalität des positiven Hauptschalters gegeben sein. Im Abschaltbetrieb führt ein aktives Ändern des Schaltzustandes des negativen Hauptschalters zwingend zu einer Spannungsdifferenz, welche ungleich dem Nullwert ist. Nur dann, wenn der negative Hauptschalter sich nicht ändern lässt weil seine Schaltfunktionalität defekt ist, bleibt die elektrisch leitende Verbindung bestehen und die Spannungsvariation führt ebenfalls nicht zu einer Spannungsdifferenz. Ein solcher erkannter Fehlerfall kann entweder ausgegeben werden, ein Fehlersignal zur weiteren Verwendung erzeugen und/oder direkt im Rahmen des Prüfverfahrens Einfluss auf die Betriebsweise des Brennstoffzellensystems, der Hauptschaltvorrichtung selbst und/oder der Transformatorvorrichtung nehmen.

Ebenfalls von Vorteil kann es sein, wenn bei einem Prüfverfahren gemäß dem voranstehenden Absatz bei erkanntem Fehlerfall in einem Startbetrieb ein Schalten eines positiven Hauptschalters der Hauptschaltvorrichtung unterdrückt wird. Würde also erkannt, dass im Startbetrieb der positive Hauptschalter durch Verschweißen nicht die gewünschte Trennfunktionalität aufweist, so ist hier kein aktives positives Schalten mehr erforderlich. Insbesondere wird in diesem Fall zusätzlich der negative Hauptschalter wieder geöffnet, um einen unerwünschten Regelbetrieb zu vermeiden, welcher aufgrund der defekten Trennfunktionalität des positiven Hauptschalters nur bedingt ausschaltfähig ist.

Weitere Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei einem erkannten Fehlerfall in einem Abschaltbetrieb der positive Hauptschalter geschaltet wird. Im Abschaltbetrieb befindet sich das Brennstoffzellensystem im Betrieb und soll deaktiviert werden. Der Fehlerfall hier entspricht einem verschweißten und/oder defekten negativen Hauptschalter, sodass nur durch das Ausschalten des positiven Hauptschalters die elektrische Trennung gewährleistet werden kann. Vorzugsweise führt dieser Fehlerfall nicht nur zur Ausgabe des Fehlersignals und/oder der Fehlerinformation, sondern insbesondere auch zu einer Unterdrückung eines Neustarts des Brennstoffzellensystems bis eine Behebung der defekten Trennfunktionalität des negativen Hauptschalters erfolgt ist.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren bei erkanntem Fehlerfall der Betrieb des Brennstoffzellensystems angepasst wird, insbesondere wie folgt:

- im Startbetrieb ein Beenden des Startbetriebes des Brennstoffzellensystems,
- im Abschaltbetrieb eine elektrisch geschütztes Abschalten des Brennstoffzellensystems,
- nach einem Abschaltbetrieb ein Verhindern eines Neustarts des Brennstoffzellensystems.

Die voranstehende Aufzählung ist eine nicht abschließende Liste. Die einzelnen Reaktionen sind insbesondere sofortige Reaktionen des Brennstoffzellensystems. Wird bei dem Startbetrieb ein Fehler durch eine defekte Trennfunktionalität des positiven Hauptschalters erkannt, so kann der Startbetrieb sofort beendet werden, um ein Erreichen eines Regelbetriebzustandes des Brennstoffzellensystems bei einer defekten Trennfunktionalität der Hauptschaltvorrichtung zu vermeiden. Im Abschaltbetrieb muss ein gesichertes und elektrisch geschütztes Abschalten gewährleistet sein, sodass beispielsweise bei einem Notabschaltbetrieb die elektrische Betriebsweise bei defekter Hauptschaltvorrichtung angepasst wird, um ein Überhitzen oder elektrische Kurzschlüsse zu vermeiden. Sobald nach dem Abschaltbetrieb bei erkanntem Fehlerfall die Betriebssituation des Brennstoffzellensystems gesichert worden ist, kann ein Neustart des Brennstoffzellensystems blockiert werden.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren nach dem Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz, insbesondere bei erkanntem Fehlerfall, eine Isolationsüberprüfung durchgeführt wird. Eine solche Isolationsüberprüfung kann in eine Prüfvorrichtung integriert sein und insbesondere beim Startbetrieb Isolationsfehler erkennen. Dadurch, dass durch die zeitversetzte Schaltmöglichkeit der Hauptschalter der Hauptschaltvorrichtung eine elektrisch leitende Teilverbindung über den geschlossenen negativen Hauptschalter vorliegt, kann eine Isolationsprüfvorrichtung auf Seite der Transformatorvorrichtung bereits zu diesem Zeitpunkt eine Isolationsprüfung durchführen. Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die

bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung auszuführen. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Prüfvorrichtung für ein Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung einer elektrischen Verbindungsvorrichtung eines Brennstoffzellensystems. Eine solche Prüfvorrichtung weist ein Erzeugungsmodul für eine Erzeugung einer Spannungsvariation auf der Niederspannungs-Seite einer Transformatorvorrichtung auf. Weiter ist ein Schaltmodul für ein Schalten eines negativen Hauptschalters der Hauptschaltvorrichtung vorgesehen. Ein Erfassungsmodul dient einem Erfassen einer Spannungsdifferenz zwischen einer Niederspannung der Niederspannungs-Seite der Transformatorvorrichtung und einer Systemspannung des Brennstoffzellensystems. Mit Hilfe eines Vergleichsmoduls kann ein Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz mit einem Nullwert durchgeführt werden. Das Erzeugungsmodul, das Schaltmodul, das Erfassungsmodul und/oder das Vergleichsmodul sind insbesondere ausgebildet für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Damit bringt eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung diese ein Isolationsprüfmodul aufweist für eine Isolationsprüfung des Brennstoffzellensystems. Wie mit Bezug auf das Prüfverfahren erläutert worden ist, kann auf diese Weise eine Isolationsprüfung in die Prüfung der Trennfunktionalität gemäß der vorliegenden Erfindung integriert werden.

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

Fig. 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 der nächste Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

- Fig. 3 der nächste Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 4 eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung,
- Fig. 5 die einzelnen Verläufe bei einem Startbetrieb,
- Fig. 6 die Ausführungsform der Figuren 1 bis 3 im Abschaltbetrieb,
- Fig. 7 der nächste Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens im Abschaltbetrieb,
- Fig. 8 der nächste Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens im Abschaltbetrieb,
- Fig. 9 die einzelnen Verläufe im Abschaltbetrieb.

Figur 1 zeigt schematisch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung 10. Diese dient zum Prüfen der Trennfunktionalität der Hauptschaltvorrichtung 110, welche in die elektrisch leitende Verbindung 100 zwischen einem Brennstoffzellensystem 200 und einer nicht näher dargestellten elektrischen Last oder eines elektrischen Netzwerkes eingebunden ist. Die elektrische Verbindungsvorrichtung 100 ist hier noch mit einer Transformatorvorrichtung 120 versehen. Die Transformatorvorrichtung 120 transformiert zwischen einer Niederspannung LV auf einer Hochspannung auf der Hochspannungs-Seite HVS. Der Anschluss zwischen der Transformatorvorrichtung 120 und dem Brennstoffzellensystem 200 ist auf der Niederspannungs-Seite LVS der Transformatorvorrichtung 120 vorgesehen und kann über den negativen Hauptschalter 112 und den positiven Hauptschalter 114 der Hauptschaltvorrichtung 110 geschaltet werden.

Mit den Figuren 1 bis 3 wird ein Startbetrieb SB dargestellt. So beginnt das Prüfverfahren damit, dass eine Spannungsvariation VV auf die Niederspannungs-Seite LVS der Transformatorvorrichtung 120 eingeprägt wird. Gemäß der Figur 1 erfolgt dies von der Hochspannungs-Seite HVS aus. Im nächsten Schritt wird gemäß der Figur 2 der negative Hauptschalter 112 geschlossen und eine Erfassung der Spannungsdifferenz VD zwischen der Systemspannung SV und der Niederspannung LV auf der Niederspannungs-Seite LVS der Transformatorvorrichtung 120

durchgeführt. Diese gemessene Spannungsdifferenz VD wird nun im nächsten Schritt mit einem Nullwert NW verglichen, sodass im Funktionsfall eine Spannungsdifferenz VD ungleich dem Nullwert NW vorliegt und auch der positive Hauptschalter 114 geschlossen werden kann. Dies entspricht dem Normalfall bei vollfunktionsfähiger Trennfunktionalität der Hauptschaltvorrichtung 110 und die Figur 3 zeigt die eingeschaltene Situation, welche nun nach dem Startbetrieb SB das Brennstoffzellensystem 200 in den regulären Betrieb überführen kann.

Die Figur 4 zeigt eine Variation, bei welcher die Spannungsvariation VV nicht von der Hochspannungs-Seite HVS, sondern von einer Niederspannungsversorgung 122 der Transformatorvorrichtung 120 eingebracht wird. Die weitere Funktionsweise der Hauptschaltvorrichtung 110 ist dabei vorzugsweise identisch mit der Beschreibung zu den Figuren 1 bis 3. Bei dieser Ausführungsform der Figur 4 ist die Prüfvorrichtung 10 zusätzlich noch mit einem Isolationsprüfmodul 60 ausgestattet, welches in der Lage ist, eine Isolationsprüfung des Brennstoffzellensystems 200 durchzuführen.

Die Figur 5 zeigt die einzelnen Schalt- und Spannungsverläufe zu dem Startbetrieb SB gemäß den Figuren 1 bis 3. Von links nach rechts über die Zeitachse verläuft in der obersten Darstellung die Schaltsituation des negativen Hauptschalters 112 und darunter die Schaltsituation des positiven Hauptschalters 114. Die beiden Schaltverläufe sind hier qualitativ angegeben zwischen einem unteren Wert, welcher dem ausgeschalteten Zustand entspricht, und einem oberen Wert, welcher dem eingeschalteten Zustand entspricht. Darunter findet sich der Spannungsverlauf der Niederspannung LV und der Systemspannung SV sowie abschließend in der untersten Linie die Spannungsdifferenz VD. Wird nun ein Brennstoffzellensystem 200 in den Startbetrieb SB versetzt, so sind beide Hauptschalter 112 und 114 noch ausgeschaltet. Zum Zeitpunkt I wird eine Spannungsvariation VV erzeugt, indem auf der Niederspannungs-Seite LVS ein Vorladen, zum Beispiel von der Hochspannungs-Seite HVS stattfindet. Zwischen dem Zeitpunkt I und II ist dies dadurch sichtbar, dass ein Ansteigen der Niederspannung LV stattfindet. Im Normalfall, also wenn in funktionierender Trennfunktionalität der positive Hauptschalter 114 im ausgeschalteten Zustand die Trennfunktion zur Verfügung stellt, ist ein Spannungsausgleich ausgeschlossen, sodass die Systemspannung SV bis zum Zeitpunkt II und auch bis zum Zeitpunkt III, also auch nach dem Einschalten des negativen Hauptschalters 112, beim Nullwert NW verbleibt. Die

Spannungsdifferenz VD steigt also zum Zeitpunkt I an und sinkt erst dann wieder ab, wenn ein Spannungsausgleich stattfinden kann. Dies ist bei funktionsfähiger Trennfunktionalität erst möglich, wenn auch der positive Hauptschalter 114 zum Zeitpunkt III ausgeschaltet werden kann. Zu diesem Zeitpunkt sinkt die Spannungsdifferenz VD wieder ab und der Regelbetrieb des Brennstoffzellensystems 200 kann starten.

Die Figuren 6, 7 und 8 zeigen den Abschaltbetrieb AB einer Ausführungsform einer Prüfvorrichtung 10. Ausgehend von einem Regelbetrieb des Brennstoffzellensystems 200 wird nun, zum Beispiel durch eine Veränderung der Betriebsweise des Brennstoffzellensystems 200 eine Spannungsvariation VV erzeugt. Dies führt zum Beispiel zum Absinken der Systemspannung SV durch ein Unterbinden oder eine Reduktion der Luftzufuhr im Brennstoffzellensystem 200. Solange die beiden Hauptschalter 112 und 114 sich im geschlossenen Zustand der Figur 6 befinden, ist ein Ausgleich zwischen Niederspannung LV und Systemspannung SV gegeben und beide Spannungen sinken im gleichen Maße durch die Spannungsvariation VV ab. In der Figur 7 wird nun nach der eingebrachten und andauernden Spannungsvariation VV wieder der negative Hauptschalter 112 auch im Abschaltbetrieb AB zuerst geöffnet. Bei Funktionsfähigkeit der Trennfunktion dieses negativen Hauptschalters 112 erfolgt dadurch ein Unterbinden eines Spannungsausgleichs, wie dies später mit Figur 9 noch näher erläutert wird. Sofern zu diesem Zeitpunkt in der Figur 7 eine Spannungsdifferenz wahrgenommen werden kann, kann von einer funktionsfähigen Trennfunktionalität des negativen Hauptschalters 112 ausgegangen, der Abschaltbetrieb AB weiterverfolgt und der positive Hauptschalter 114 geöffnet werden.

Die Figur 9 zeigt die einzelnen Spannungs- und Schaltverläufe der Ausführungsformen der Figuren 6, 7 und 8. Hier geht der Abschaltbetrieb AB von einem Regelbetrieb des Brennstoffzellensystems 200 aus, also sind beide Hauptschalter 112 und 114 eingeschaltet. Zum Zeitpunkt I erfolgt die Spannungsvariation VV hier durch eine Reduktion der Luftzufuhr zum Brennstoffzellensystem 200. Die Systemsspannung SV und die Niederspannung LV sinken gemeinsam ab bis zum Zeitpunkt II. Zu diesem Zeitpunkt II wird der negative Hauptschalter 112 ausgeschaltet, sodass der Spannungsaustausch nicht mehr stattfinden kann und die Niederspannung LV stark absinkt. Während gleichzeitig die Systemspannung SV einem langsamen Abfallen folgt, wie dies rechts von Zeitpunkt

II zu erkennen ist. Es entsteht also eine Spannungsdifferenz VD , welche in der untersten Zeile der Figur 9 separat aufgetragen ist, bis wieder ein Ausgleich der Niederspannung LV und der Systemspannung SV vorgesehen werden kann. Zum Zeitpunkt III kann, insbesondere wenn vorher eine Spannungsdifferenz VD größer als der Nullwert NW erkannt worden ist, ein komplettes Ausschalten des positiven Hauptschalters 114 erfolgen, sodass das Brennstoffzellensystem 200 außer Betrieb gesetzt worden ist.

In den Figuren 5 und 9 ist noch gut zu erkennen, dass eine Schaltversatzdauer SD zwischen den Schaltzeitpunkten II und III gegeben ist. Diese ist beispielsweise im Bereich von 20 ms gewählt, um sicherzustellen, dass das erfindungsgemäße Prüfverfahren, insbesondere die Erfassungs- und Vergleichsschritte des Prüfverfahrens, ausreichend Zeit zur Durchführung erhalten.

Die voranstehende Erläuterung der Durchführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

10	Prüfvorrichtung
20	Erzeugungsmodul
30	Schaltmodul
40	Erfassungsmodul
50	Vergleichsmodul
60	Isolationsprüfmodul
100	elektrische Verbindungsvorrichtung
110	Hauptschaltvorrichtung
112	negativer Hauptschalter
114	positiver Hauptschalter
120	Transformatorvorrichtung
122	Niederspannungsversorgung
200	Brennstoffzellensystem
HVS	Hochspannungs-Seite
LVS	Niederspannungs-Seite
LV	Niederspannung
SV	Systemspannung
VV	Spannungsvariation
VD	Spannungsdifferenz
NW	Nullwert
SD	Schaltversatzdauer
SB	Startbetrieb
AB	Abschaltbetrieb

Patentansprüche

1. Prüfverfahren zum Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung (110) einer elektrischen Verbindungsvorrichtung (100) eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend die folgenden Schritte:
 - Erzeugung einer Spannungsvariation (VV) auf der Niederspannungs-Seite (LVS) einer Transformatorvorrichtung (120),
 - Schalten eines negativen Hauptschalters (112) der Hauptschaltevorrichtung (110),
 - Erfassen einer Spannungsdifferenz (VD) zwischen einer Niederspannung (LV) der Niederspannungs-Seite (LVS) der Transformatorvorrichtung (120) und einer Systemspannung (SV) des Brennstoffzellensystems (200),
 - Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz (VD) mit einem Nullwert (NW).
2. Prüfverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem Startbetrieb (SB) des Brennstoffzellensystems (200) die Spannungsvariation (VV) erzeugt wird durch ein Aufladen der Niederspannungs-Seite (LVS) der Transformatorvorrichtung (120), insbesondere von einer Hochspannungs-Seite (HVS) der Transformatorvorrichtung (120) und/oder mittels einer Niederspannungsversorgung (122) der Transformatorvorrichtung (120).
3. Prüfverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannungsvariation (VV) von einem Nullwert (NW) erfolgt.
4. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem Abschaltbetrieb (AB) des Brennstoffzellensystems (200) die Spannungsvariation (VD) erzeugt wird durch ein Herunterfahren der Stromerzeugung durch das Brennstoffzellensystem (200), insbesondere mittels Reduktion oder Abschalten einer Gaszufuhr zum Brennstoffzellensystem (200).

5. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltstellung eines positiven Hauptschalters (114) der Hauptschaltvorrichtung (110) nach dem Schalten des negativen Hauptschalters (112) für eine Schaltversatzdauer (SD) beibehalten wird.
6. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer erfassten Spannungsdifferenz (VD), welche dem Nullwert (NW) entspricht oder im Wesentlichen entspricht, ein Fehlerfall erkannt wird.
7. Prüfverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei erkanntem Fehlerfall in einem Startbetrieb (SB) ein Schalten eines positiven Hauptschalters (114) der Hauptschaltvorrichtung (110) unterdrückt wird.
8. Prüfverfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem erkanntem Fehlerfall in einem Abschaltbetrieb (AB) der positive Hauptschalter (114) geschaltet wird.
9. Prüfverfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei erkanntem Fehlerfall der Betrieb des Brennstoffzellensystems (200) angepasst wird, insbesondere wie folgt:
 - Im Startbetrieb (SB) ein Beenden des Startbetriebes (SB) des Brennstoffzellensystems (200)
 - Im Abschaltbetrieb (AB) ein elektrisch geschütztes Abschalten des Brennstoffzellensystems (200)
 - Nach einem Abschaltbetrieb (AB) ein Verhindern eines Neustarts des Brennstoffzellensystems (200)
10. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz (VD), insbesondere bei erkanntem Fehlerfall, eine Isolationsüberprüfung durchgeführt wird.

11. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen.
12. Prüfvorrichtung (10) für ein Prüfen der Trennfunktionalität einer Hauptschaltvorrichtung (110) einer elektrischen Verbindungsvorrichtung (100) eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend ein Erzeugungsmodul (20) für eine Erzeugung einer Spannungsvariation (VV) auf der Niederspannungs-Seite (LVS) einer Transformatorvorrichtung (120), ein Schaltmodul (30) für ein Schalten eines negativen Hauptschalters (112) der Hauptschaltvorrichtung (110), ein Erfassungsmodul (40) für ein Erfassen einer Spannungsdifferenz (UD) zwischen einer Niederspannung (LV) der Niederspannungs-Seite (LVS) der Transformatorvorrichtung (120) und einer Systemspannung (SV) des Brennstoffzellensystems (200) und ein Vergleichsmodul (50) für einen Vergleich der erfassten Spannungsdifferenz (VD) mit einem Nullwert (NW).
13. Prüfvorrichtung (10) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erzeugungsmodul (20), das Schaltmodul (30), das Erfassungsmodul (40) und/oder das Vergleichsmodul (50) ausgebildet sind für eine Ausführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10.
14. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese ein Isolationsprüfmodul (60) aufweist für eine Isolationsprüfung des Brennstoffzellensystems (200).

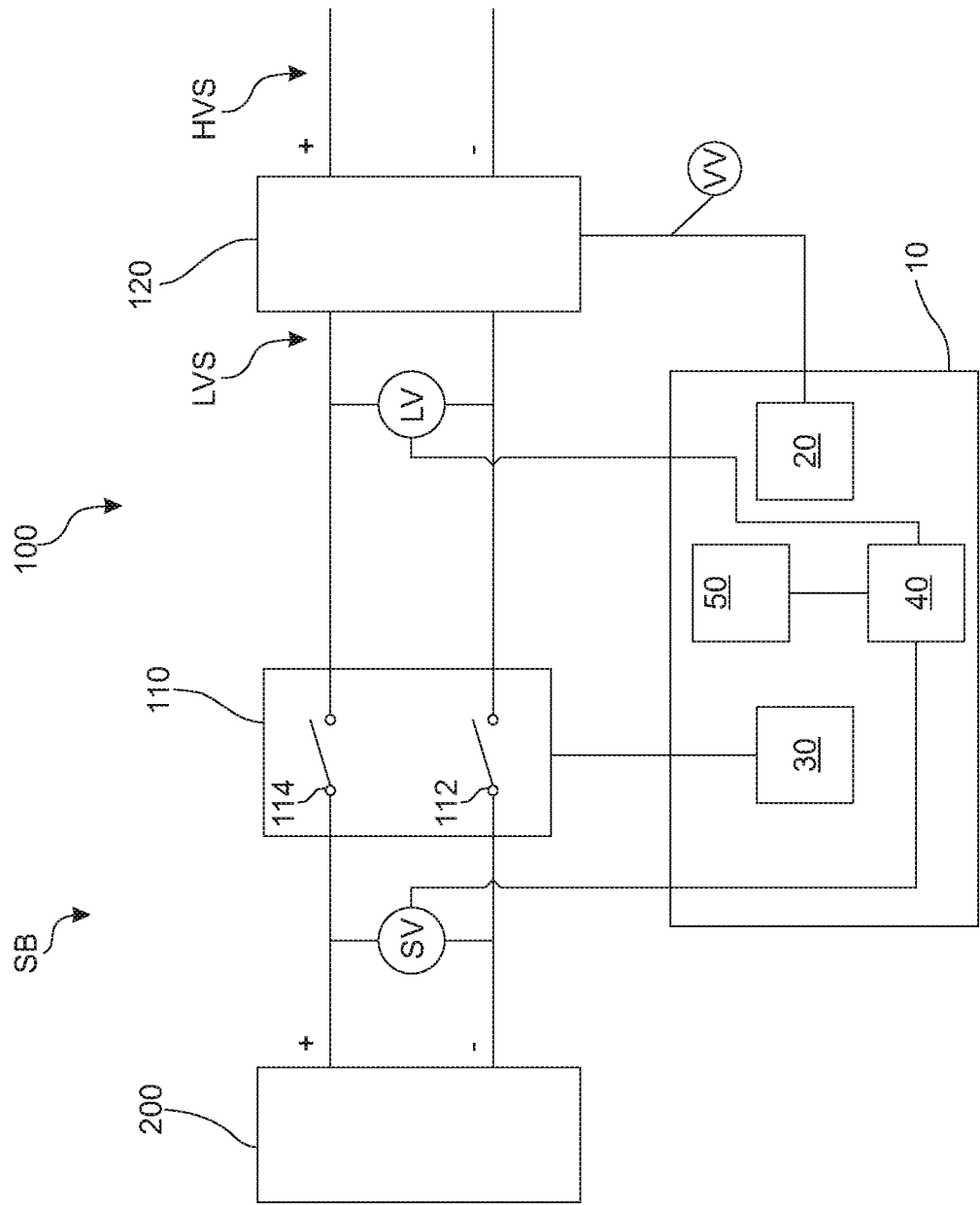


Fig. 1

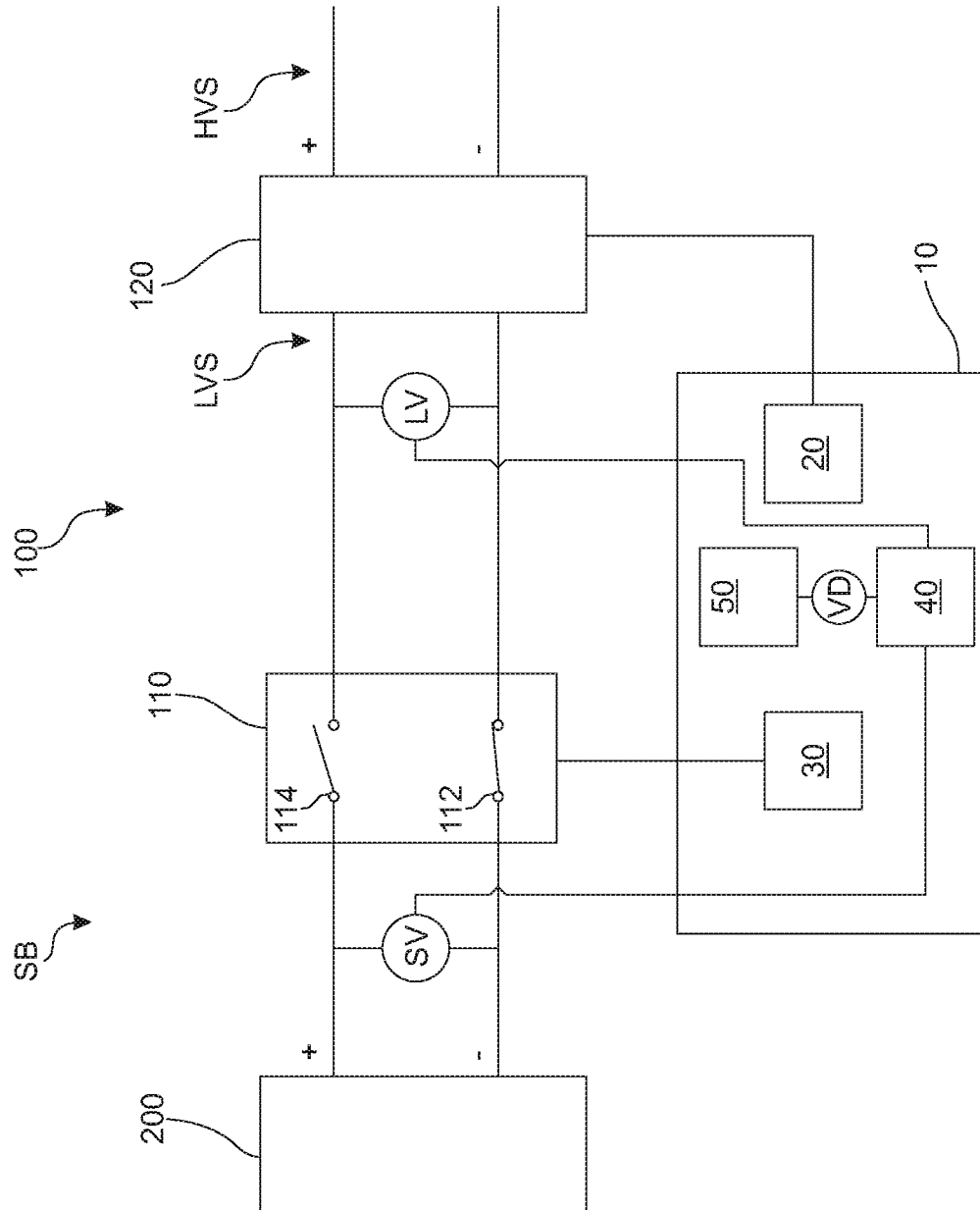


Fig. 2

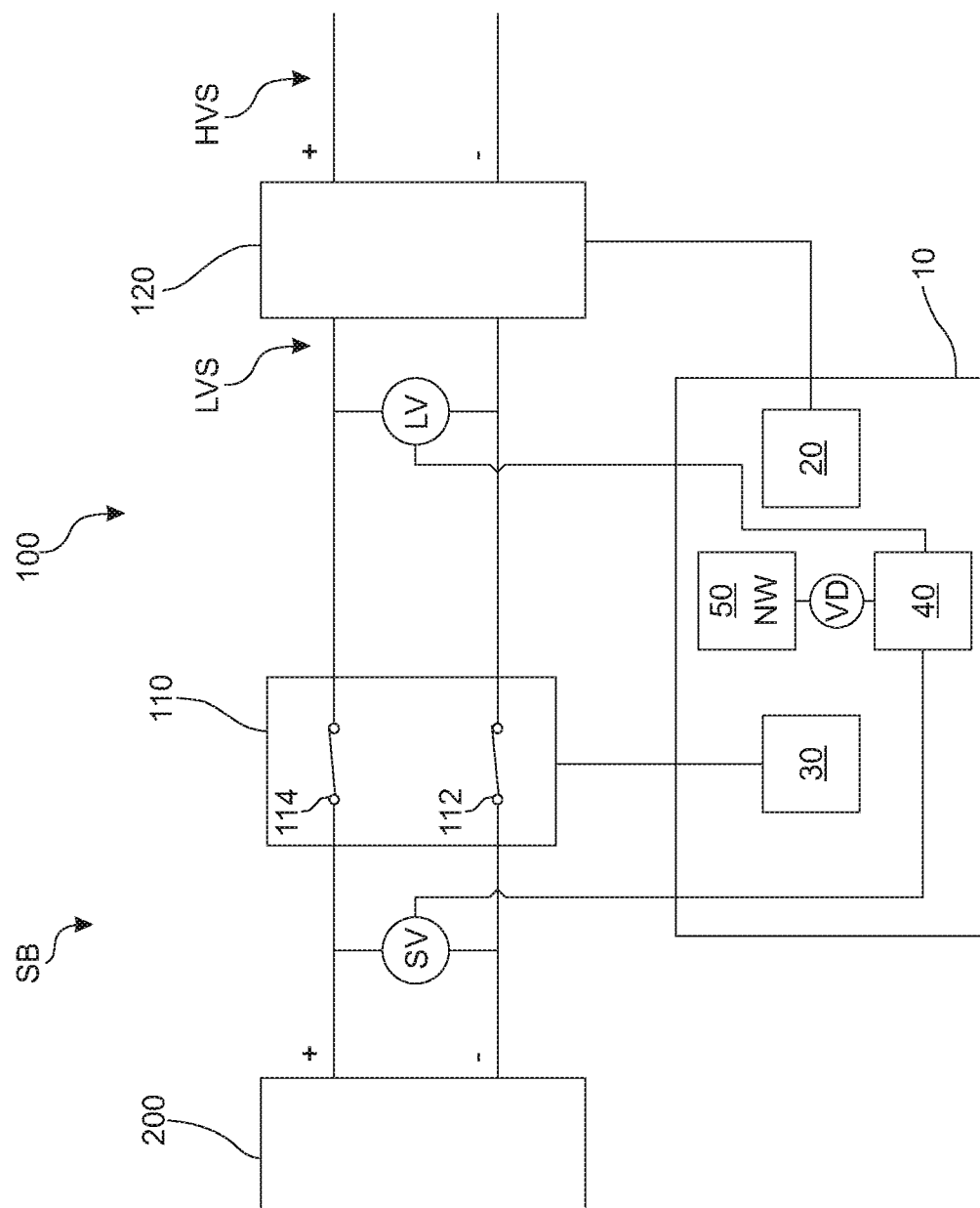


Fig. 3

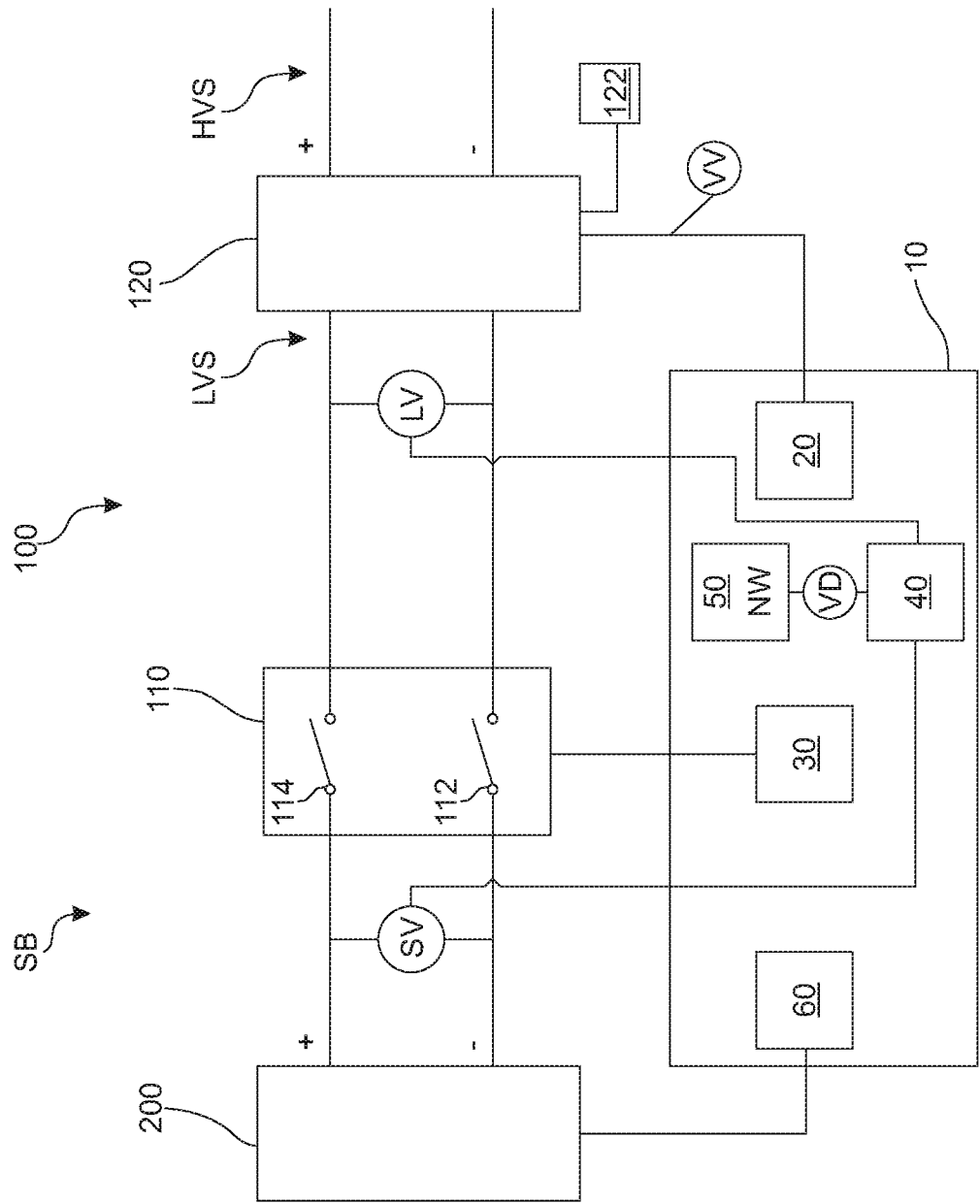


Fig. 4

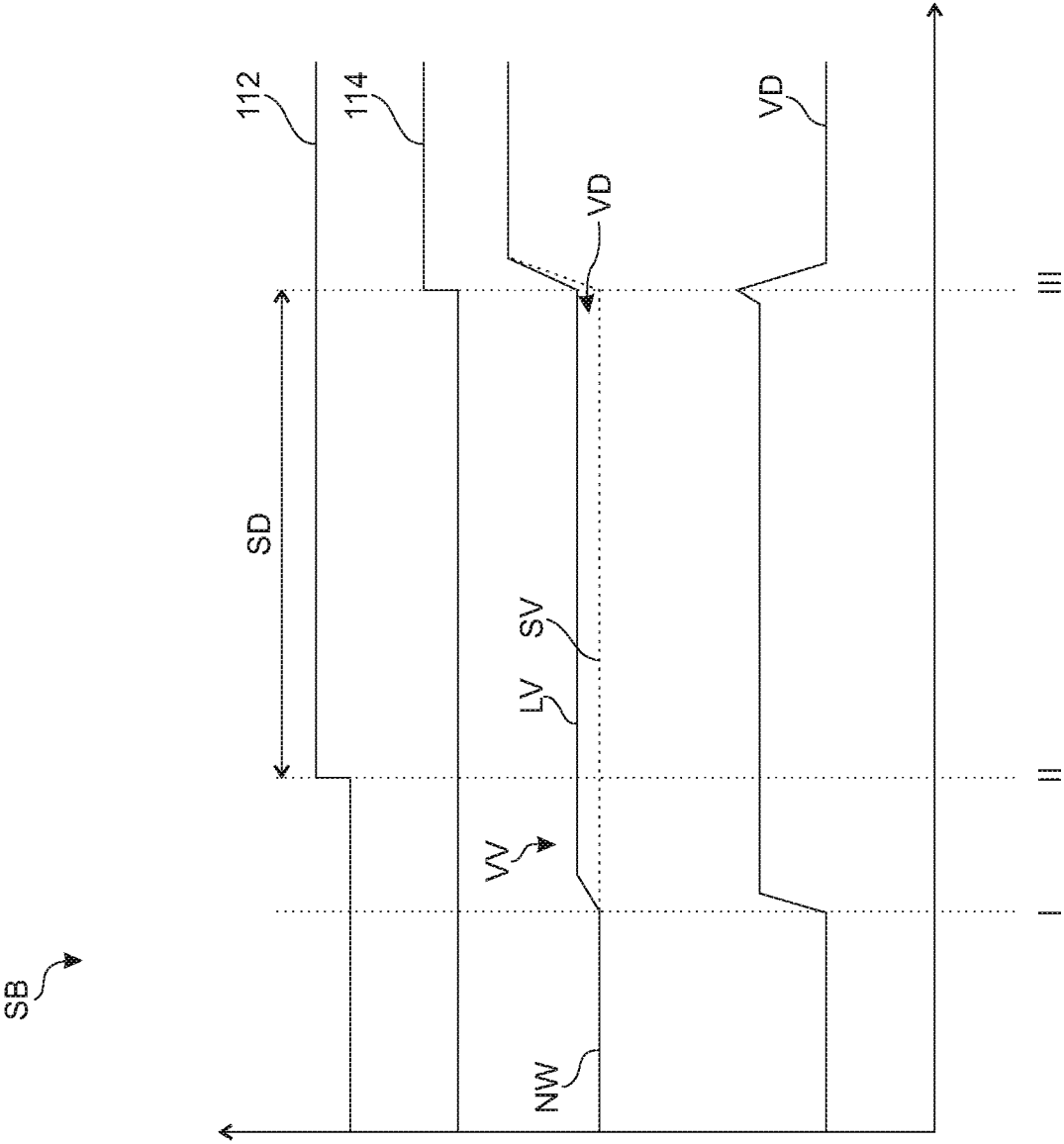


Fig. 5

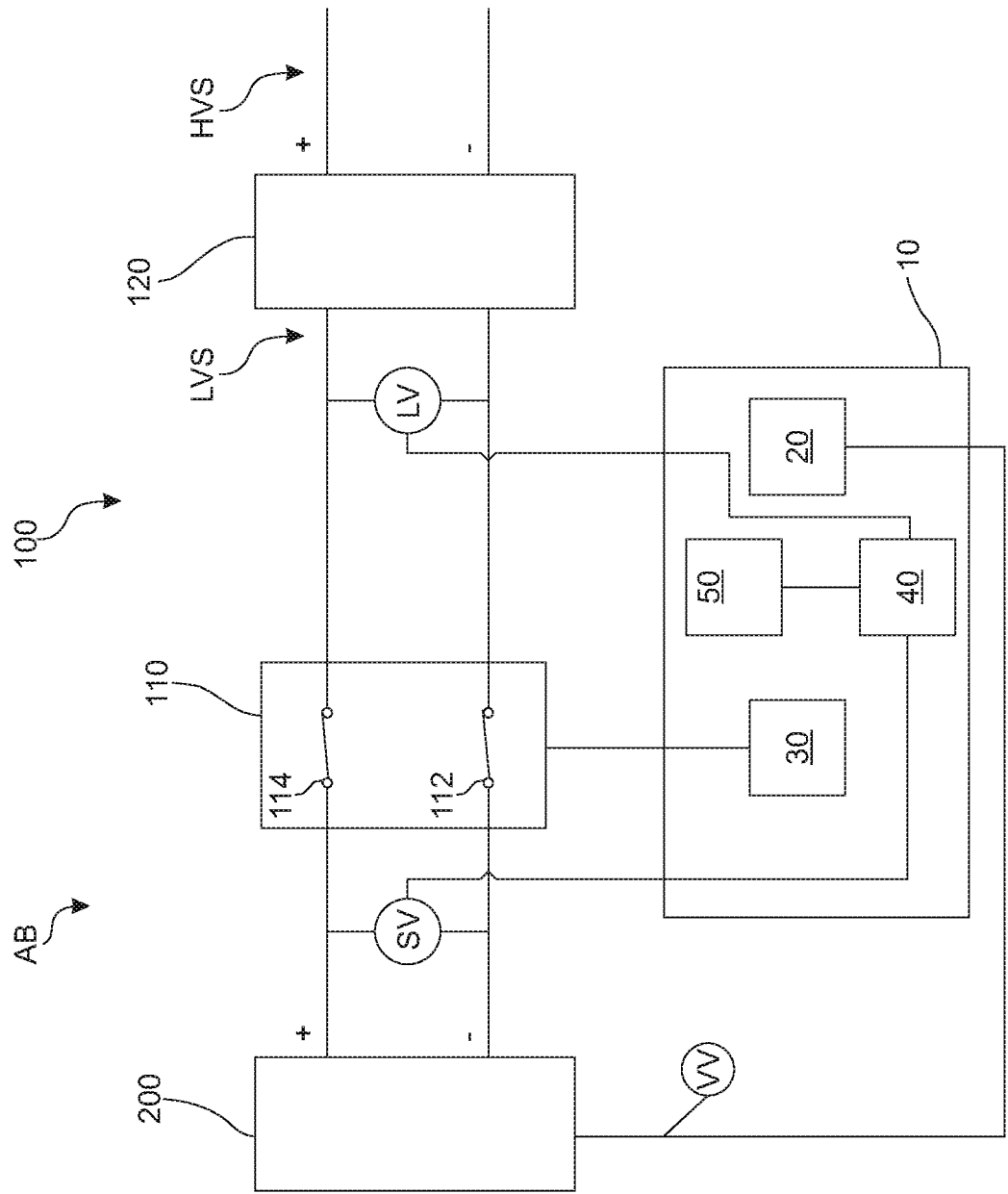


Fig. 6

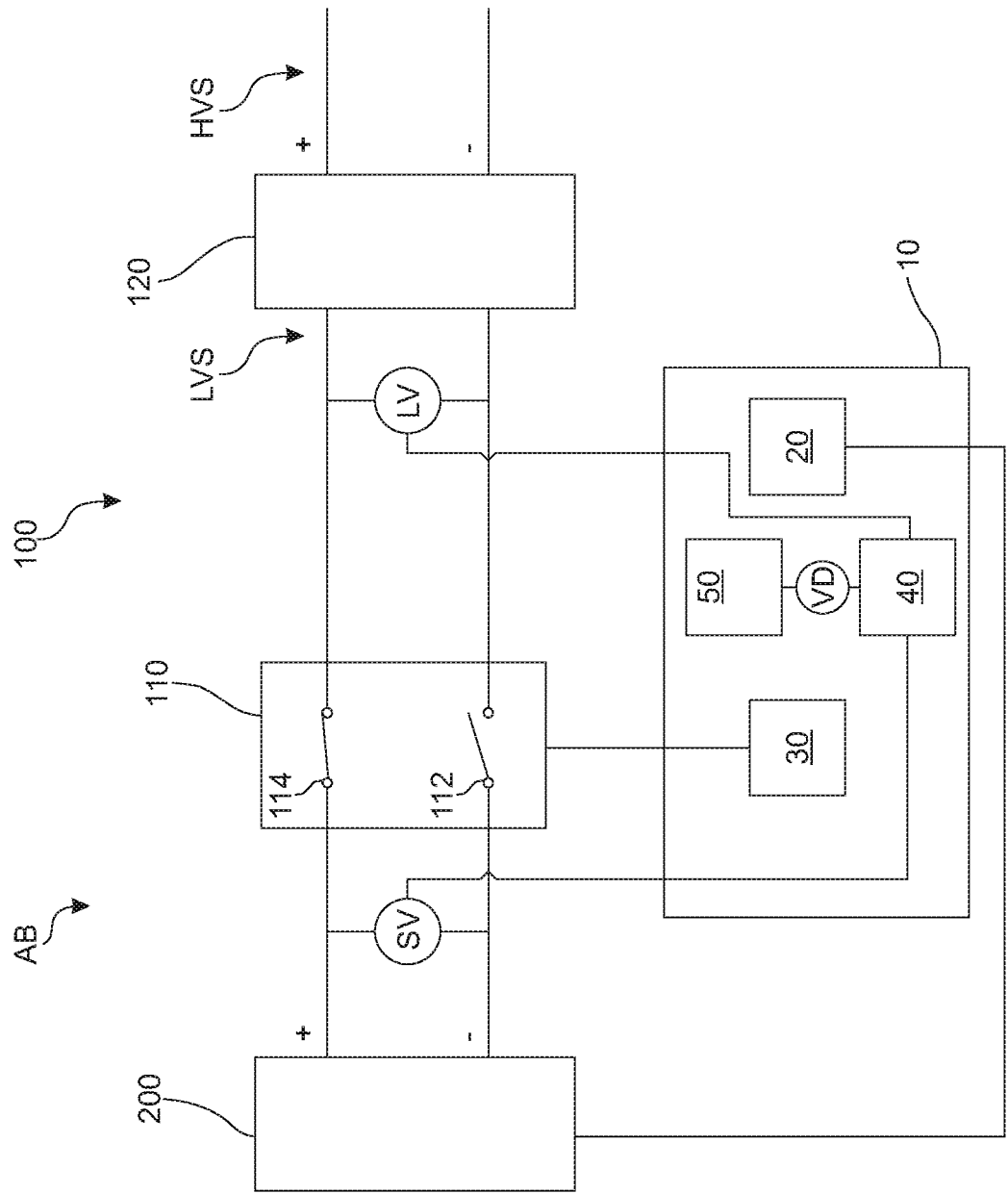


Fig. 7

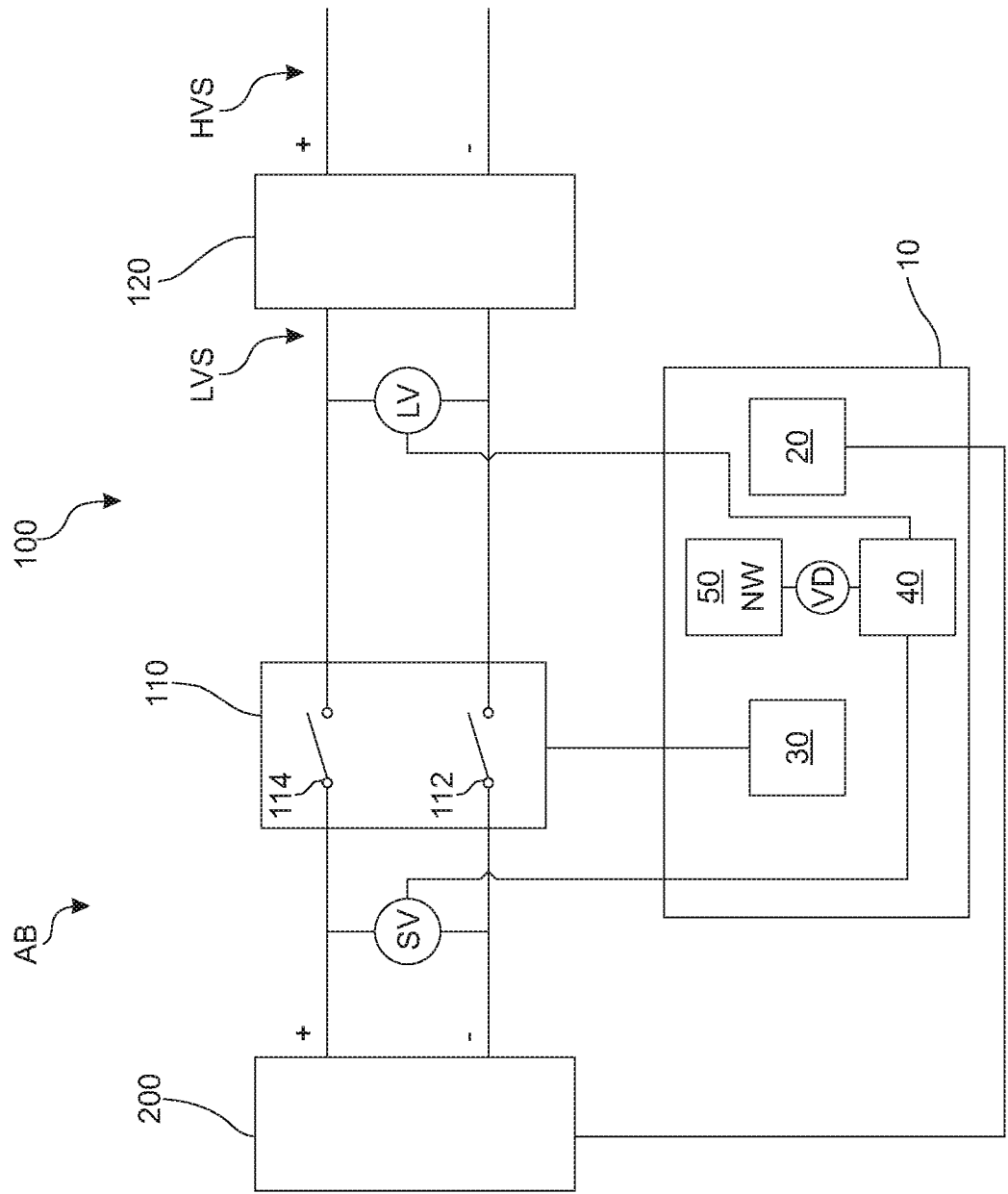


Fig. 8

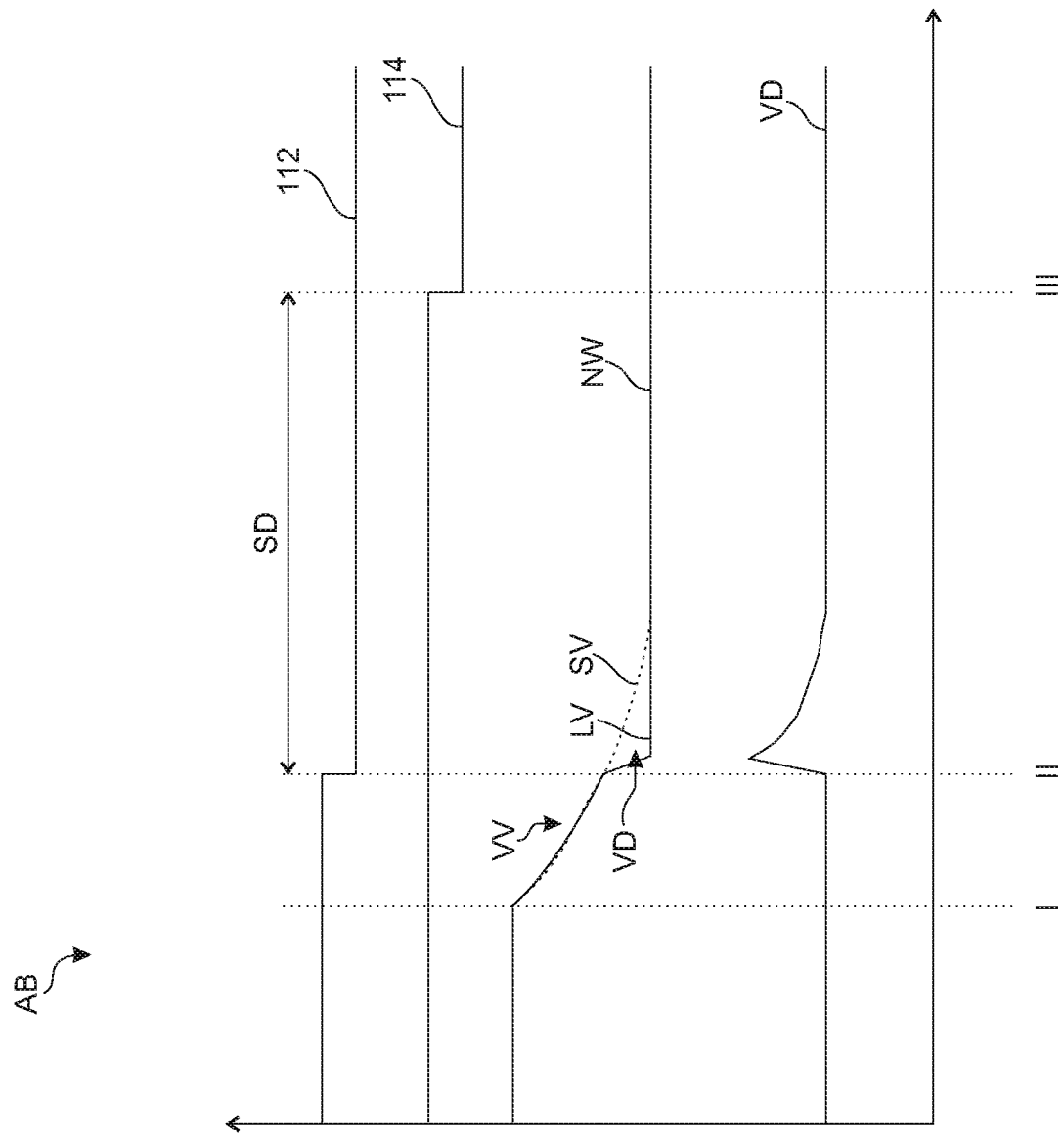


Fig. 9