(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. September 2023 (21.09.2023)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/173154 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 31/389 (2019.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2023/060075

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. März 2023 (15.03.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A50173/2022 17. März 2022 (17.03.2022) AT

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

(72) Erfinder: **POFAHL, Stefan**; Zollgasse 5, 8020 Graz (AT).
FUCHS, Ernst; Teichweg 29, 8062 Kumberg (AT).

(74) Anwalt: **PATENTANWÄLTE PINTER & WEISS OG**; Prinz-Eugen-Strasse 70, 1040 Wien (AT).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, 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,

(54) **Title:** TEST ARRANGEMENT FOR AN ELECTROCHEMICAL CELL STACK

(54) **Bezeichnung:** PRÜFANORDNUNG FÜR EINEN ELEKTROCHEMISCHEN ZELLSTAPEL

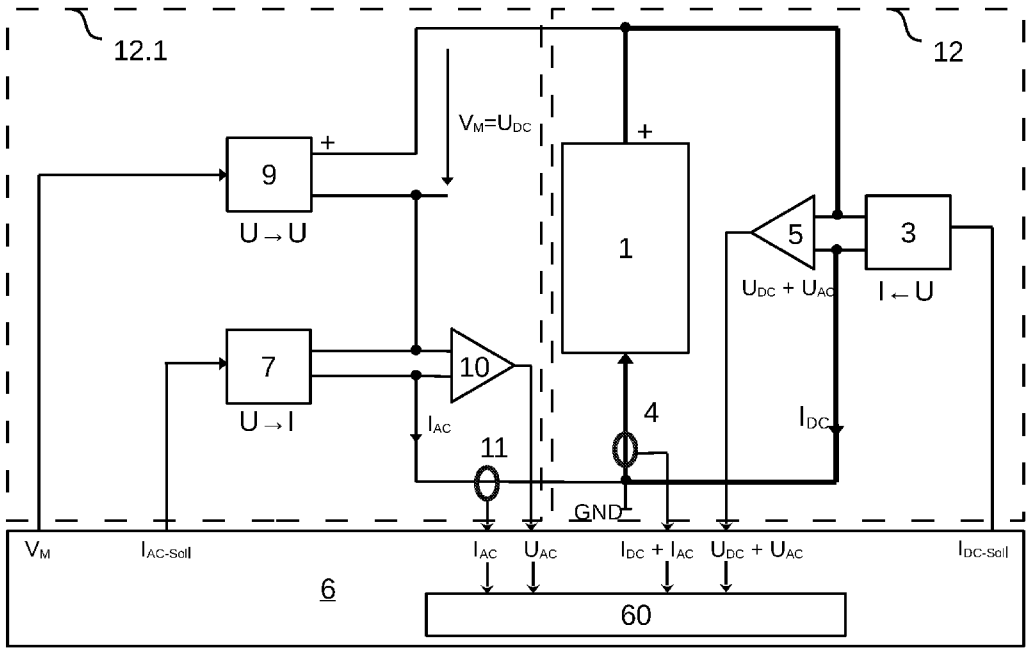


Fig.3

(57) **Abstract:** The present invention discloses a test arrangement for checking a test object (1), wherein provision is made in the test arrangement for a loading unit (3) that is connected to an automation unit (6) and is designed to specify an operating point (WP), specified by the automation unit (6), on a current/voltage characteristic curve (2) of the test object (1) by way of a DC current (I_{DC}), characterized in that the test arrangement at least has: the automation unit (6), which is designed to determine a virtual potential (V_M) from the current/voltage characteristic curve (2) using a first voltage measurement unit (5) and using a first current measurement unit (4) and to measure a test current (I_{AC}) and a test voltage (U_{AC}) that arises using a second voltage

WO 2023/173154 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

measurement unit (10) and a second current measurement unit (11); a test signal source (7) that is connected to the automation unit (6) and is designed to impress the test current (I_{AC}) on the test object (1); and a reference voltage source (9) that is connected to the automation unit (6) and is designed to specify the virtual potential (V_M) for the test signal source (11).

(57) Zusammenfassung: Die gegenständliche Erfindung zeigt eine Testanordnung für eine Überprüfung eines Testobjekts (1), wobei in der Testanordnung eine Belastungseinheit (3) vorgesehen ist, welche mit einer Äutomatisierungseinheit (6) verbunden und ausgestaltet ist, einen von der Äutomatisierungseinheit (6) vorgegebenen Ärbeitspunkt (WP) auf einer Strom-Spannungs-Kennlinie (2) des Testobjekts (1) mittels eines Gleichstroms (I_{DC}) vorzugeben, dadurch gekennzeichnet dass die Testanordnung zumindest aufweist: die Äutomatisierungseinheit (6), welche ausgestaltet ist, über eine erste Spannungsmesseinheit (5) und über eine erste Strommesseinheit (4) aus der Strom-Spannungs-Kennlinie (2) ein virtuelles Potential (V_M) zu bestimmen und über eine zweite Spannungsmesseinheit (10) und eine zweite Strommesseinheit (11) einen Prüfstrom (I_{AC}) und eine sich einstellende Prüfspannung (U_{AC}) zu messen; eine Prüfsignalquelle (7), welche mit der Äutomatisierungseinheit (6) verbunden ist und ausgestaltet ist, dem Testobjekt (1) den Prüfstrom (I_{AC}) einzuprägen; und eine Referenzspannungsquelle (9), welche mit der Äutomatisierungseinheit (6) verbunden und ausgestaltet ist, der Prüfsignalquelle (7) das virtuelle Potential (V_M) vorzugeben.

Prüfanordnung für einen elektrochemischen Zellstapel

Die gegenständliche Erfindung zeigt eine Testanordnung für eine Überprüfung eines Testobjekts, wobei in der Testanordnung eine Belastungseinheit vorgesehen ist, welche mit einer Automatisierungseinheit verbunden und ausgestaltet ist, einen von der Automatisierungseinheit vorgegebenen Arbeitspunkt auf einer Strom-Spannungs-Kennlinie des Testobjekts mittels eines Gleichstroms vorzugeben. Weiters zeigt die gegenständliche Erfindung ein Verfahren zur Überprüfung des Testobjekts.

Eine Analyse von elektrochemischen Bauteilen, wie Batterien, Akkumulatoren, Brennstoffzellen, und weitere, ist essentiell, um beispielsweise die Leistung, Degradation und Lebenszeit dieser elektrochemischen Bauteile zu bestimmen. Das ist vor allem wichtig, wenn solche Bauteile länger im Betrieb sind. Eine hoch reproduzierbare und gut anwendbare Analysemethode stellt die Impedanzmessung von elektrochemischen Bauteilen dar. Damit ist es möglich – im Gegensatz zu klassischen DC-Messungen – Anteile des Widerstands von der Elektrode, Kathode und des Elektrolyten zu bestimmen. Das ist vor allem bei Alterungsprozessen wichtig.

Am Beispiel von Brennstoffzellen kann gerade eine Analyse der Kathode wichtig sein, da diese den ratenbestimmenden Schritt der Reaktion einer Brennstoffzelle darstellt. Die Degradation an der Kathode führt beispielsweise zu Leistungsverlust der Brennstoffzellen. Weiters kann es auch nötig sein, den Widerstand des Elektrolyten zu bestimmen. Ein Verlust des Elektrolytwiderstands kann beispielweise den Ausfall einer ganzen Zelle bedeuten.

Im Regelfall sind elektrochemische Bauteile in Serie zu sogenannten Zellstacks zusammengeschaltet, um eine nominell hohe Spannung zu erzeugen. Beispiele für Zellstacks sind Brennstoffzellenstacks, aber es sind auch andere Stacks wie beispielsweise Redox-Flow-Batterie Stacks in Verwendung. Eine Mehrzahl von elektrochemischen Zellen (oftmals hunderte an der Zahl), werden dazu zu einem Zellstack zusammengeschlossen, womit sich am Zellstack eine Stackspannung in Höhe von mehreren 100 bis zu ungefähr1000 Volt ergeben kann.

Bei Belastung der elektrochemischen Bauteile ist die reale Spannung auf Basis der Strom-Spannungs-Kennlinie kleiner als die nominelle Zellspannung. Die Gründe dafür liegen in kinetischer Hemmung des Ladungsdurchtritts, im ohmschen Widerstand des Elektrolyten und in Transportlimitationen, welche im Regelfall bei hohen Strömen auftreten. So beträgt beispielsweise die Zellspannung einer einzelnen Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle im Leerlauf ca. 1 V und sinkt bei Belastung auf unter 0,3 V ab. Weiters ist die Strom-Spannungs-Kennlinie von diversen Parametern abhängig, beispielsweise von der Geometrie, der Medienversorgung, der Alterung des Zellstacks, usw. und kann somit für jede Zelle und natürlich auch für einen Zellstack anders aussehen.

Für die klassische Prüfung eines Testobjekts, wie eines Zellstacks, wird ein Arbeitspunkt an der Strom-Spannungs-Kennlinie angesteuert. An diesem stationären Punkt kann eine Impedanzmessung erfolgen. Dabei wird einem Gleichstrom-Anteil (DC) ein Wechselstrom-Anteil (AC) als Prüfstrom aufgeschlagen (eingeprägt), welcher dann eine genaue Analyse der einzelnen Bestandteile der Zellen erlaubt. Der Prüfstrom kann beispielsweise sinusförmig sein, es sind aber auch andere Signalformen möglich, wie etwa Pseudo-Gleichverteilte-Binärsignale (Pseudo-Random-Binary-Signal - PRBS). Der Prüfstrom kann dabei eine einzelne oder eine Mehrzahl an Frequenzen, oder auch ein gesamtes Spektrum an Frequenzen aufweisen.

Zum Prüfen eines Testobjekts, z.B. einer Batterie oder Brennstoffzelle, ist (z.B. an einem Prüfstand) eine Prüfanordnung vorgesehen. Dabei kann dem Testobjekt bestehend aus einer Anzahl an elektrochemischen Bauteilen durch eine Belastungseinheit ein Arbeitspunkt vorgegeben werden und das Testobjekt mit einem positiven Strom belastet werden, was im Wesentlichen einem Entladen des Testobjekts entspricht. Das Testobjekt kann aber von der Belastungseinheit auch mit einem negativen Strom beladen werden, was im Wesentlichen einem Aufladen des Testobjekts entspricht. Insbesondere für reversibel arbeitende Testobjekte (z.B. bei Vorhandensein einer Sekundärbatterie, also eines Akkumulators) kann die Belastungseinheit daher auch als eine kombinierte Belastungs-/Beladungseinheit ausgeführt sein. Natürlich ist auch die Strom-Spannungs-Kennlinie abhängig von der Polarität des Arbeitspunkts und kann unterschiedlich ausgebildet sein. Beispielsweise können bei Entladung an einer Elektrode, Transportphänomene eine untergeordnete oder gar keine Rolle spielen, während beim Laden an derselben Elektrode Transportphänomene die Strom-Spannungs-Kennlinie signifikant beeinflussen. Natürlich kann nicht nur ein Strom eingeprägt werden, es ist natürlich auch möglich, dass eine Spannung eingeprägt wird.

Während eines Prüfvorgangs stellen sich am Testobjekt Messgrößen – Strom oder Spannung – ein, welche, z.B. mit einer Einheit des Prüfstands, ermittelt und ausgewertet werden. Dies erfolgt jedoch praktisch, wie oben erwähnt, nur im stationären Arbeitspunkt, d.h. beispielsweise bei konstantem Belastungsstrom. Eine Änderung des Arbeitspunktes, während der Messung hat natürlich Auswirkungen auf den Prüfvorgang. Abhängig von der Dauer der Messung – beispielsweise bei einem gesamten Spektrum vom Megahertz (MHz) bis zum Millihertz (mHz) Bereich – kann es zu einer Verzerrung der gemessenen Spektren im Prüfvorgang kommen. Es kann auch passieren, dass durch eine zu schnelle Änderung des Arbeitspunkts eine Auswertung des Prüfvorgangs nicht mehr möglich ist, beispielsweise über klassische Ersatzschaltbilder, wie mit Widerstands-Kondensator Glieder (RC-Glied).

Eine regelmäßiger, unterbrechungsfreier Prüfvorgang ist wichtig, um Verluste in Leistung und Degradation zeitnah zu erkennen und das Testobjekt bzw. Stack gegebenenfalls abschalten zu können. Zur Messung der Impedanz (AC-Anteil) wird üblicherweise ein

Koppelkondensator verwendet, der es ermöglicht, den DC-Anteil des Arbeitspunktes vom AC-Anteil der Impedanz aufzutrennen. Bei schnellen Änderungen des Arbeitspunktes ist es erforderlich, dass sich auch die Spannung am Koppelkondensator ändert. Es kann aber auch passieren, dass die Polarität am Kondensator sich ändert. Da für sehr hohe DC-Spannungen, aber Kondensatoren mit hoher Kapazität im Millifarad (mF) Bereich verwendet werden müssen, um einen Überschlag zu verhindern, kommen praktisch nur Elektrolytkondensatoren als Koppelkondensatoren zu Anwendung. Eine spontane Änderung der Polarität an einem Elektrolytkondensator kann im schlechtesten Fall zu dessen Zerstörung führen.

Um dieses Problem mit einzelnen Koppelkondensatoren zu beheben, wurde entsprechend der AT 517 714 B1 eine Schaltung entwickelt, welche zwei antiseriell geschaltete Koppelkondensatoren verwendet, welche mit beispielsweise Schottky-Dioden geschützt werden. Koppelkondensatoren haben allerdings den Nachteil, dass bei Änderung des Arbeitspunkts der Prüfvorgang solange unterbrochen werden muss, bis die Koppelkondensatoren ent- bzw. geladen wurden. Folglich sind Koppelkondensatoren nicht für Messungen geeignet, bei denen regelmäßige Änderungen des Arbeitspunkts auftreten.

Es ist Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, eine Testanordnung und ein Verfahren zum Testen eines Testobjekts anzugeben, wobei ein unterbrechungsfreies Einbringen von Prüfsignalen in das Testobjekt ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem die Testanordnung zumindest aufweist: die Automatisierungseinheit, welche ausgestaltet ist, über eine erste Spannungsmesseinheit und über eine erste Strommesseinheit aus der Strom-Spannungs-Kennlinie ein virtuelles Potential zu bestimmen und über eine zweite Spannungsmesseinheit und eine zweite Strommesseinheit einen Prüfstrom und eine sich einstellende Prüfspannung zu messen; eine Prüfsignalquelle, welche mit der Automatisierungseinheit verbunden ist und ausgestaltet ist, dem Testobjekt den Prüfstrom einzuprägen; und eine Referenzspannungsquelle, welche mit der Automatisierungseinheit verbunden und ausgestaltet ist, der Prüfsignalquelle das virtuelle Potential vorzugeben.

Das ist vorteilhaft, weil die Signaländerungen durch die Belastungseinheit schneller als die Signaländerungen der Prüfsignalquelle sein können. Damit ist es möglich, dass sich die Frequenzbereiche der Belastungseinheit und der Prüfsignale überlappen. Es kann also die DC-Grenzfrequenz größer als die Grenzfrequenz sein. Damit sind eine durchgehende unterbrechungsfreie Signaleinprägung und Messung möglich.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Automatisierungseinheit ausgebildet, der Belastungseinheit einen Belastungsstrom vorzugeben. Somit kann die Automatisierungseinheit einen sehr genauen Gleichstrom in das Testobjekt einbringen, und

ebenfalls gewollte Änderungen sehr schnell umsetzten. Das kann beispielsweise nötig sein, wenn ein Testobjekt in einem Fahrzeug, wie einem Elektrofahrzeug eingesetzt wird, und unterschiedliche Belastungen innerhalb einer relativ kurzen Zeitdauer benötigt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Prüfsignalquelle ausgebildet, den Prüfstrom mit zumindest einer Einprägefrequenz in das Testobjekt einzuprägen. Somit kann ein Wechselstrom mit einer Frequenz, welche charakteristisch ist, um beispielsweise ein Degradationsphänomen zu erkennen, eingeprägt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Prüfsignalquelle ausgebildet, den Prüfstrom als Frequenzspektrum mit einer Mehrzahl an Frequenzen in das Testobjekt einzuprägen. Ein Frequenzspektrum – auch oftmals als Impedanzspektrum annotiert – kann vorteilhaft sein, um verschiedene Phänomene in einem Testobjekt mittels einer Messung zu betrachten. Beispielsweise können Elektrolytwiderstände, kinetische Hemmungen an den Elektroden, chemische Kapazitäten, Streukapazitäten und Ähnliches in einer Messung bestimmt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Automatisierungseinheit integraler Bestandteil eines Prüfstandes, oder eines Steuergeräts eines Fahrzeugs, oder eines Batteriemanagementsystems einer Batterie, oder einer Brennstoffzellensteuereinheit. Die Automatisierungseinheit kann damit in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet werden. Somit kann die Automatisierungseinheit sowohl Ladeprozesse und/oder Entladeprozesse an einem Testobjekt und/oder Zellstack betreiben.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Belastungseinheit abhängig vom Betriebsmodus des Testobjekts, wobei die Belastungseinheit eine spannungsgesteuerte Stromquelle oder ein Verbraucher ist. Die Belastungseinheit kann unterschiedlich ausgestaltet sein, je nachdem ob Ladeprozesse und/oder Entladeprozesse an einem Testobjekt und/oder Zellstack stattfinden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß auch über ein Verfahren zur Überprüfung eines Testobjekts mittels eines Prüfstroms gelöst, wobei eine Automatisierungseinheit folgende Schritte ausführt: Aufnahme einer Strom-Spannungs-Kennlinie unter Vorgabe eines Gleichstroms einer Belastungseinheit über eine erste Spannungsmesseinheit und einer ersten Strommesseinheit; Errechnen eines virtuellen Potentials auf Basis der aufgenommenen Strom-Spannungs-Kennlinie und eines Arbeitspunkts und Vorgabe des virtuellen Potentials über eine Referenzspannungsquelle an eine Prüfsignalquelle; Vorgabe des Prüfstroms über die Prüfsignalquelle, um dem Testobjekt den Prüfstrom einzuprägen und Messen des Prüfstrom und einer sich einstellende Prüfspannung über eine zweite Spannungsmesseinheit und eine zweite Strommesseinheit und Variieren des Arbeitspunkts

und Anpassen des virtuellen Potentials auf Basis des aktuellen Arbeitspunkts über die Referenzspannungsquelle an der Prüfsignalquelle.

In einer vorteilhaften Ausführungsform misst die erste Spannungsmesseinheit parallel zum Testobjekt in einem Messtromkreis eine Gesamtspannung, als Summe aus einer Gleichspannung und einer Prüfspannung, und die erste Strommesseinheit misst in Serie zum Messstromkreis einen Gesamtstrom, als Summe aus dem Gleichstrom und dem Prüfstrom. Die Gesamtspannung und der Gesamtstrom werden dann an die Automatisierungseinheit übermittelt. Somit kann sowohl die Gesamtspannung und der Gesamtstrom als auch Gleichspannung und Gleichstrom im Messtromkreis ermittelt werden. Es können daraus auch abgeleitete Messgrößen wie Leistung oder Lade- und/oder Entladezustand ermittelt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform misst die zweite Spannungsmesseinheit parallel zur Prüfsignalquelle in einem Prüfstromkreis die Prüfspannung, und die zweite Strommesseinheit misst in Serie zum Prüfstromkreis den Prüfstrom. Die Prüfspannung und der Prüfstrom werden dann an die Automatisierungseinheit übermittelt. Somit kann das Prüfsignal abgekoppelt vom Belastungsstrom bzw. unabhängig von der Belastungsspannung ermittelt werden. Das Prüfsignal kann sofort von der Automatisierungseinheit aufgenommen werden und in weiterer Folge ausgewertet werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden von einer Auswerteeinheit in der Automatisierungseinheit Kennwerte des Testobjekts, vorzugsweise frequenzabhängige Impedanzen, Oberwellen, Klirrfaktoren, ermittelt. Somit können verschiedenste Effekte, wie Degradation, Signalqualität und Qualität des Testobjekts, ermittelt werden. Ein Klirrfaktor kann dabei verwendet werden, um ein Verhältnis zwischen einer Grundwelle und einer Oberwelle, beispielsweise des Prüfsignals oder des Testobjekts, zu ermitteln.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4b näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig. 1 eine Strom-Spannungskurve eines elektrochemischen Bauteils,

Fig. 2a einen getrennten Frequenzbereich von Gleichstrom und Prüfstrom,

Fig. 2b einen überlappenden Frequenzbereich von Gleichstrom und Prüfstrom,

Fig. 3 eine Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Testanordnung,

Fig. 4a ein Testlauf mit der erfindungsgemäße Prüfeinheit, und

Fig. 4b eine zum Testlauf in Fig. 4a zugehörige Strom-Spannungs-Kennlinie.

Im Rahmen der gegenständlichen Beschreibung wird ein Testobjekt 1 verwendet, welches beispielsweise ein Zellstack sein kann. Ein Zellstack besteht aus einer Mehrzahl (bis zu mehrere hunderte) in Serie geschalteten elektrochemischen Bauteilen, wie z.B. Brennstoffzellen oder Batteriezellen oder Akkumulatoren. Es ist aber auch möglich, mit der gegenständlichen Erfindung einzelne elektrochemische Bauteile zu vermessen. Abhängig von der Belastung durch Strom oder Spannung am Testobjekt 1 stellt sich ein Arbeitspunkt WP an einer Strom-Spannungs-Kennlinie 2 ein. Die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 in Fig. 1 kann mehrere charakteristische Bereiche beinhalten. Nahe vom Wert des Stroms I=0 kann die kinetischer Hemmung 2.1 maßgebend sein, während im mittleren Strombereich der Elektrolytwiderstand 2.2 dominieren kann und bei hohen Strömen Transportphänomene 2.3 maßgebend sein können, die beispielsweise durch Diffusionslimitationen verursacht werden können. Die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 kann natürlich abhängig vom elektrochemischen Bauteil sein. Die grundlegenden Prinzipien sind dem Fachmann bekannt und werden daher hier nicht im Detail erörtert.

Ein Testobjekt 1 hat einen Pol mit hohem Potential und einen Pol mit niedrigem Potential. Der Pol mit hohem Potential wird als positiver Pol + annotiert und dient zur Bestimmung eines virtuellen Potentials V_M, wie weiter unten noch erläutert wird.

Auch die Dimensionierung des Testobjekts 1 kann natürlich Einfluss auf die Absolutwerte der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 haben. Zur Veranschaulichung ist die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 nur im ersten Quadranten des kartesischen Koordinatensystems gezeigt, wobei abhängig von der Polarität und der Belastung des Testobjekts 1 auch der Teil der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 im dritten Quadranten ausschlaggebend sein kann. Auf der Ordinate ist die Spannung U(V) gegeben, auf der Abszisse der Strom I(A). Die Zellspannung U_Z entspricht im Leerlauf (d.h. bei einem Zellstrom I_Z von null) annähernd der idealen Zellspannung U_0. Beispielsweise kann die Zellspannung U_Z 1,2 V bei einer klassischen Brennstoffzelle mit Redoxedukten Wasserstoff und Sauerstoff sein. Beispielsweise haben Lithium-Ionen-Batterien eine Zellspannung U_0 von ungefähr 3,6 V. Unter Belastung, d.h. mit steigendem Strom I(A) sinkt die Zellspannung U(V) jedoch abhängig vom Strom I(A). Der Verlauf (Steilheit und Länge) der Strom-Spannungs-Kennlinien 2 kann von verschiedenen Parametern, z.B. von der Geometrie, der Medienversorgung, der Alterung der elektrochemischen Bauteile im Testobjekt 1 etc. abhängig sein. Solche Strom-Spannungs-Kennlinien 2 können prinzipiell von jedem einzelnen elektrochemischen Bauteil aufgenommen werden oder vom gesamten Testobjekt 1.

Um ein Testobjekt 1 einem Prüfvorgang zu unterziehen, wird das Testobjekt 1 mit einem Gleichstrom I_{DC} belastet. Damit kann ein stationärer Arbeitspunkt WP an der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 festgelegt werden, wie in Fig. 1 gezeigt wird. Es ist aber auch möglich, dass die Belastung in erfindungsgemäßen Verfahren nicht stationär erfolgt, sondern

beispielsweise als Rampe, Sinusfunktion oder in definierten Stufen ausgestaltet ist. Damit kann der Arbeitspunkt WP also gezielt variiert werden.

Der Prüfvorgang, also die Signaleinprägung, wird erfindungsgemäß mittels eines Prüfstroms I_{AC} – also mittels eines Wechselstroms – durchgeführt, welcher in das Testobjekt 1 eingeprägt wird. Der Frequenzbereich des Prüfstroms I_{AC} wird mit „AC-Bereich“ bezeichnet und kann eine oder mehrere definierte Einprägefrequenzen f beinhalten. Es ist auch möglich, dass ein gesamtes Frequenzspektrum aufgenommen wird. Dabei kann die Einprägefrequenz f eines Prüfstroms I_{AC} von einer hohen Frequenz, beispielsweise im Megahertz (MHz) Bereich bis zu einer Grenzfrequenz f_u im Millihertz (mHz) Bereich verändert werden. Der Frequenzbereich wird im Regelfall vom Fachmann vor einem Prüfvorgang bestimmt, und kann einen dem elektrochemischen Bauteil entsprechenden Bereich für die zumindest eine Einprägefrequenz f enthalten.

Der Arbeitspunkt WP kann sich ebenfalls während einer Messung verändern. Beispielsweise können Degradation oder Entladung zu einer Änderung an der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 bzw. einer Entladekurve (nicht gezeigt) führen und damit den Arbeitspunkt WP ungewollt verändern. Es kann aber auch eine Arbeitspunkt WP absichtlich verändert werden, beispielsweise von einer Automatisierungseinheit 6. Das kann beispielsweise beim Betrieb einer Brennstoffzelle im Fahrzeug nötig sein, um auf alternierenden Strombedarf reagieren zu können.

Um ein Testobjekt 1 einem Prüfvorgang zu unterziehen, wird das Testobjekt 1 einerseits durch einen Gleichstrom I_{DC}, welcher von einer Automatisierungseinheit 6 als Sollstrom $I_{DC,soll}$ vorgegeben wird, belastet und andererseits ein Prüfstrom I_{AC} in das Testobjekt 1 eingeprägt. Der Frequenzbereich des Prüfstroms I_{AC} kann bei einer Grenzfrequenz f_u starten. Es ist aber auch beispielsweise möglich, dass der Prüfstroms I_{AC} bei einer hohen Einprägefrequenz f startet, beispielsweise im MHz Bereich. Der Frequenzbereich einer Änderung des Gleichstroms I_{DC}, d.h. des Arbeitspunkts WP reicht von 0 Hz und bis zu einer DC-Grenzfrequenz f_o. Es kann prinzipiell wünschenswert sein, dass die DC-Grenzfrequenz f_o und die Grenzfrequenz f_u möglichst weit auseinanderliegen (DC-Grenzfrequenz f_o << Grenzfrequenz f_u), vorzugsweise mindestens um den Faktor 10, d.h. um eine Frequenz-Dekade.

In Fig. 2a wird eine gute Trennung der Frequenzbereiche der Änderung des Gleichstroms I_{DC} und des Prüfstroms I_{AC} gezeigt. Die Abszisse zeigt dabei die logarithmierte Frequenz und die Ordinate den Strom. Damit kann verhindert werden, dass die Messtechnik übersteuert und die oben genannten Einschränkungen auftreten. In der Praxis überlappen sich diese beiden Bereiche jedoch, was in Folge durch ein kurzes Rechenbeispiel dargestellt werden kann und

in Fig. 2b schematisch dargestellt wird. Die Spannungen und Ströme sind zur reinen Erläuterung im Rechenbeispiel als Funktion der Zeit t dargestellt.

Der Zusammenhang zwischen einer an einem Testobjekt 1 angelegten Prüfstrom $U_{AC}(t)$, hier als Funktion der Zeit t dargestellt, und dem in das Testobjekt 1 eingeprägten Prüfstrom $I_{AC}(t)$ kann allgemein über die Impedanz Z des Testobjekts 1 beschrieben werden: $U_{AC}(t) = I_{AC}(t) * Z$. Für harmonische Schwingungen ergibt sich der allgemeine Zusammenhang $u(t) = \hat{U}*\sin(\omega*t) = \hat{I}*Z*\sin(\omega*t)$. In Bezug auf ein Testobjekt 1 bezeichnet $\omega = 2*\pi*f$ die Kreisfrequenz, $\hat{U}$ die Spitzenspannung und $\hat{I}$ den Spitzenstrom des eingeprägten Prüfstrom $I_{AC}(t)$ dar. Die Spitzenspannung $\hat{U}$ und der Spitzenstrom $\hat{I}$ hängen wiederum über die Impedanz Z des Testobjekts 1 zusammen: $\hat{U} = \hat{I}\ Z$. Über die erste zeitliche Ableitung $du(t)/dt = \hat{U}* 2*\pi*f *\cos(\omega*t)$ ergeben sich die Extremwerte (Maximalwerte und Minimalwerte) der Prüfspannung $U_{AC}(t)$ zu den Zeitpunkten $t = 0, \pi, 2*\pi$, usw.

Wird, beispielsweise, in ein Testobjekt 1 mit einer Impedanz Z von 0,1 Ohm ein Prüfstrom I_{AC} mit einem Spitzenstrom $\hat{I}$ von 2 A eingeprägt, so ergibt sich eine Prüfspannung U_{AC} mit einer Spitzenspannung $\hat{U}$ von 0,2 V. Bei einer Einprägefrequenz f von 1 Hz (Prüfkreisfrequenz $\omega = 2\pi f = 2\pi$) ergibt sich für die Prüfspannung U_{AC} eine maximale Spannungsänderung $du(t)/dt = \hat{U}* 2*\pi*f *\cos(\omega*t) = 1{,}256$ V/s. Dieselbe maximale Spannungsänderung dU(t)/dt ergibt sich für den Prüfstrom I_{AC} mit einem Spitzenstrom $\hat{I}$ von 0,2 A bei einer Einprägefrequenz f von 10 Hz, oder bei einem Spitzenstrom $\hat{I}$ von 20 A bei einer Einprägefrequenz f von 0,1 Hz usw.

Wird davon ausgegangen, dass sich für ein Testobjekt 1 eine maximale Änderung der Gleichspannung U_{DC} (d.h. des Arbeitspunkts) von 250 V/s ergibt, so folgt daraus für die Gleichspannung U_{DC} eine Spitzenspannung $\hat{U}$ von 40 V bei einer Frequenz f von 1 Hz, und eine Spitzenspannung $\hat{U}$ von 1 V bei einer Frequenz von 40 Hz etc. Somit ist erkennbar, dass sich die DC-Grenzfrequenz f_o und die Grenzfrequenz f_u zwischen 1 Hz und 40 Hz überlappen können, wie auch schematisch in Fig. 2b dargestellt wird.

Durch die erfindungsgemäße Testschaltung mit der Prüfsignalquelle 7 und der in Serie geschalteten spannungsgesteuerten Spannungsquelle 9 wird mit der zweiten Spannungsmesseinheit 10 nur die Frequenzanteile der Prüfspannung U_{AC} erfasst, weil die Frequenzanteile der Belastungseinheit 3 durch die Serienschaltung subtrahiert werden, $U_{ges} = V_M + U_{AC}$, oder $U_{AC} = U_{ges} - V_M$). Die Testschaltung wird unten im Detail erörtert. Somit kann ein Überlappen der Frequenzen wie in Fig. 2b gezeigt wird unproblematisch für die Auswertung des Prüfsignals sein.

Fig. 3 stellt eine erfindungsgemäße Testschaltung für ein Testobjekt 1 dar. In einem Messstromkreis 12 sind zumindest vorgesehen: eine Belastungseinheit 3, eine erste Spannungsmesseinheit 5 sowie das Testobjekt 1, beispielsweise als Zellstack. Als Testobjekt 1 ist, wie bereits erwähnt, beispielsweise ein Stapel elektrochemischer Bauteile,

d.h. z.B. Elektrolyseure, Primärzellen (Batterien), Akkumulatoren (Sekundärzellen), Brennstoffzellen etc., vorgesehen. Die Testanordnung 1 wird von einer Automatisierungseinheit 6 gesteuert. Die Automatisierungseinheit 6 kann ein integraler Bestandteil eines Prüfstandes, oder eines Steuergeräts eines Fahrzeugs, oder eines Batteriemanagementsystems einer Batterie, oder einer Brennstoffzellensteuereinheit sein. Somit kann die Testanordnung 1 in einer Vielzahl an Anwendungen eingesetzt werden, welche dem Fachmann geläufig sind.

Die Belastungseinheit 3 ist mit der Automatisierungseinheit 6 verbunden, wobei die Automatisierungseinheit 6 der Belastungseinheit 3 einen Belastungsstrom $I_{DC,soll}$ vorgibt. Die Belastungseinheit 3 gibt dann einen Gleichstrom I_{DC} im Testobjekt 1 vor. Es ist aber auch vorstellbar, dass eine Belastungsspannung $U_{DC,Soll}$ von der Automatisierungseinheit 6 vorgegeben wird. Die Belastungseinheit 3 ist im Regelfall ausgebildet, einen hohen Gleichstrom I_{DC} in das Testobjekt 1 einzubringen, da beispielsweise Laden eines Akkumulators mehrere 100 Ampere Strom benötigt. Die Automatisierungseinheit 6 kann aber auch ausgebildet sein bei Betrieb einer Brennstoffzelle als Testobjekt 1 die Zufuhr von Gasströmen zu steuern (beispielsweise Wasserstoff und Sauerstoff) und kann damit den Arbeitspunkt WP am Testobjekt 1 einstellen.

Es kann aber auch möglich sein, dass die Belastungseinheit 3 ein Verbraucher ist. Das ist dann vorteilhaft, wenn das Testobjekt 1 beispielsweise eine Batterie oder ein Akkumulator ist, und die Belastungseinheit 3 als Verbraucher über die Batterie und den Akkumulator betrieben wird. Dann kann es nicht nötig sein, dass ein Gleichstrom I_{DC} am Testobjekt 1 vorgegeben wird. Es ist auch vorstellbar, dass die Rolle der Belastungseinheit 3, also spannungsgesteuerte Stromquelle oder Verbraucher, je nach Betriebsmodus des Testobjekts 1 wechselt. Ein solcher Wechsel kann beispielsweise bei Lade – und Entladezyklen bei Batterien und Akkumulatoren der Fall sein.

Zur Beschreibung der Erfindung wird die Belastungseinheit 3 am Beispiel eines Gleichstroms I_{DC} demonstriert, ist aber nicht auf diese Anwendung beschränkt. Die Belastung durch den Gleichstrom I_{DC} kann in diesem Zusammenhang sowohl in Form eines negativen Gleichstroms I_{DC} (z.B. bei einem Elektrolyseur oder einer Batterie als Testobjekt 1), als auch in Form eines positiven Gleichstroms I_{DC} (z.B. bei einer Brennstoffzelle als Testobjekt 1) erfolgen und definiert den Arbeitspunkt WP in der Strom-Spannungs-Kennlinie 2. Dabei stellt sich am Testobjekt 1 eine Gleichspannung U_{DC} auf Basis der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 ein. Als Belastungseinheit 3 kann beispielsweise eine geregelte Stromsenke vorgesehen sein.

Zur Bestimmung eines virtuelle Potentials V_M wird eine Strom-Spannungs-Kennlinie 2 von der Automatisierungseinheit 6 aufgenommen. Zur Aufnahme der Strom-Spannungs-

Kennlinie 2 kann der Gleichstrom I_{DC} von einem ersten Wert $I_{1,Set}$ bis zu einem zweiten Wert $I_{2,Set}$ geändert werden und währenddessen die Gesamtspannung U_{ges} über die erste Spannungsmesseinheit 5 (ohne Anlegen eines Prüfsignals I_{AC} identisch mit der Gleichspannung U_{DC}) gemessen werden. Diese Messung kann beispielsweise mit Abtastgeschwindigkeiten von 5 A/s zu 500 A/s, bevorzugterweise von 50 A/s bis 100 A/s, erfolgen. Es kann aber auch möglich sein, dass in einer definierten Zeitdauer, beispielsweise in 1 min, die Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 erfolgt. Je nach Vorgabe des ersten Werts $I_{1,Set}$ und des zweiten Werts $I_{2,Set}$ kann die Abtastgeschwindigkeit daher unterschiedlich sein. Die Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 kann auch abhängig von der Anzahl der aufzunehmenden Punkte an der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 sein.

Wenn die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 im Betrieb nachgemessen wird, kann beispielsweise nur zumindest ein Wert (Strom-Spannungs-Wertpaar, beispielweise nur den ersten Werts $I_{1,Set}$) an der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 gemessen werden. Somit kann beispielsweise eine Degradation des Testobjekts 1 im Betreib nachvollzogen werden.

In Fig. 1 sind exemplarisch erster Wert $I_{1,Set}$ und zweiter Wert $I_{2,Set}$ gezeigt. Vorteilhafterweise liegen die Werte oberhalb des Kurzschlussstroms (I_{CC}) und unterhalb der Leerlaufspannung U_Z im Betrieb. Für Testzwecke kann aber auch ein weiterer Bereich der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 abgetastet werden, beispielsweise von einem negativen Strombereich zu einem positivem Strombereich. Dabei kann dann der Punkt der Gleichspannung $I_{DC} = 0$ durchlaufen werden.

Zur Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 wird sowohl die Gesamtspannung U_{Ges} als auch der Gesamtstrom I_{Ges} gemessen. Das erste Spannungsmessgerät 5 ist zur Ermittlung der Gesamtspannung U_{Ges} parallel zum Testobjekt 1 geschaltet und misst den Spannungsabfall zwischen + Pol und Masse GND. Somit kann am ersten Spannungsmessgerät 5 die Gesamtspannung $U_{ges} = U_{AC} + U_{DC}$ gemessen werden und an die Automatisierungseinheit 6 weitergegebenen werden. Die Gesamtspannung U_{ges} besteht aus einer Gleichspannung U_{DC} der Belastungseinheit 3 und einer Prüfspannung U_{AC} eines Prüfsignals. Wenn kein Prüfsignal anliegt, entspricht die Gesamtspannung U_{ges} der Gleichspannung U_{DC}. Der Gesamtstrom I_{ges} wird an einer ersten Strommesseinheit 4, welcher in Serie mit dem Testobjekt 1 im Messstromkreis 12 geschaltet ist, gemessen und an die Automatisierungseinheit 6 weitergegeben. Der Gesamtstrom I_{ges} setzt sich aus einem Gleichstrom I_{DC} der Belastungseinheit 3 und einem Prüfstrom I_{AC} eines Prüfsignals. Solange kein Prüfsignal verwendet wird, sind nur die Gleichspannung U_{DC} und der Gleichstrom I_{DC} am Testobjekt 1 anliegend.

Bei einer ersten Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 durch die Automatisierungseinheit 6 wird noch kein Prüfsignal in das Testobjekt 1 eingeprägt. Das

erste Spannungsmessgerät 5 misst daher nur die Gleichspannung U_{DC} und die erste Strommesseinheit 4 nur den Gleichstrom I_{DC}. Aus dem Zusammenhang der Werte des Gleichstroms I_{DC} und der Gleichspannung U_{DC} ergibt sich eine Strom-Spannungs-Kennlinie 2 mit $U_{DC} = f(I_{DC})$ des Testobjekts 1. Diese Werte, und damit die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 können beispielsweise als Tabelle abgelegt werden. Anhand der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 kann die Gleichspannung U_{DC} für jeden Gleichstrom I_{DC} vorhergesagt werden. Solche Strom-Spannungs-Kennlinien 2 können in regelmäßigen Zeitabständen aufgenommen werden, um Entladung, Degradation und Alterung eines Testobjekts 1 verfolgen zu können.

Mit der Belastungseinheit 3 kann das Testobjekt 1 im Messstromkreis 12 auch betrieben werden. Damit kann beispielsweise ein Akkumulator geladen werden. Es ist aber auch möglich, eine Brennstoffzelle mittels Gaszufuhr (nicht gezeigt) zu betreiben. Bei Betrieb einer Brennstoffzelle wird dann beispielsweise Gesamtspannung U_{ges} und Gesamtstrom I_{ges} nur gemessen und nicht von der Belastungseinheit 3 vorgegeben. Es ist aber dennoch möglich, eine erfindungsgemäße Prüfsignaleinprägung während des Betriebs ohne Belastung durch die Belastungseinheit 3 vorzunehmen.

Der Prüfstromkreis 12.1 beinhaltet erfindungsgemäß eine Prüfsignalquelle 7, eine Referenzspannungsquelle 9, eine zweite Spannungsmesseinheit 10 und eine zweite Strommesseinheit 11. Die Prüfsignalquelle 7 ist ausgestaltet, einen Prüfstrom I_{AC} als Prüfsignal in das Testobjekt 1 einzuprägen. Die Prüfsignalquelle 7 ist mit der Automatisierungseinheit 6 verbunden und ausgestaltet, einen Prüfstrom I_{AC} entsprechend einem, von der Automatisierungseinheit 6 vorgegebenen, Soll-Prüfstrom $I_{AC,soll}$ in das Testobjekt 1 einzuprägen. Der Prüfstrom I_{AC} kann beispielsweise über eine spannungsgesteuerte Stromquelle 7 ($U \rightarrow I$) eingebracht werden. Es ist aber auch denkbar, dass eine Prüfspannung U_{AC} eingebracht wird. Dazu kann es dann nötig sein, auch die Prüfsignalquelle 7 anzupassen. Bei Vorgabe eines Prüfstrom I_{AC} stellt sich am Testobjekt 1 eine Prüfspannung U_{AC} ein. Diese wird der Gleichspannung U_{DC} der Belastungseinheit 3 überlagert und über die Gesamtspannung U_{Ges} an der ersten Spannungsmesseinheit 5 gemessen. Dabei können beispielsweise einzelne Frequenzen eingeprägt werden. Der Prüfstrom I_{AC} hat also zumindest eine Einprägefrequenz f. Es kann aber auch ein gesamtes Frequenzspektrum eingeprägt und aufgenommen werden. Dabei wird die Frequenz kontinuierlich verändert und die resultierende Prüfspannung U_{AC} aufgenommen. Die verschiedenen Formen der Erzeugung eines Prüfsignals sind im Stand der Technik bekannt und dem Fachmann geläufig.

Eine Messung eines Prüfsignals mittels Prüfstroms I_{AC} bei stationärem Arbeitspunkt WP in der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 ist prinzipiell unproblematisch. Im Stand der Technik wird dazu die Prüfspannung $U_{AC,}$ welche über den Soll-Prüfstrom $I_{AC,soll}$ eingebracht wird, über

einen Koppelkondensator aufgetrennt und gemessen (nicht gezeigt). Bei Änderungen des Arbeitspunktes WP kann es zu diversen Nachteilen kommen. Es kann nötig sein, dass ein Koppelkondensator nach einer Arbeitspunktänderung WP neu geladen/entladen wird. Das führt zwangsläufig zu Messpausen, wobei eine Messung bzw. die Erzeugung eines Prüfsignals unterbrochen wird. Diese Nachteile werden erfindungsgemäß vermieden, indem die Prüfsignalquelle 7 auf die momentane Gleichspannung U_{DC} des Testobjekts 1 angehoben wird.

Dazu ist erfindungsgemäß die Referenzspannungsquelle 9 als spannungsgesteuerte Spannungsquelle (U→U) ausgestaltet, wobei die Referenzspannungsquelle 9 ein virtuelles Potential V_M bereitstellt. Durch das Mitführen des virtuellen Potentials V_M auf Basis der Gleichspannung U_{DC} kann auf die Verwendung eines Koppelkondensators verzichtet werden. Es kann mit einer Prüfsignalquelle 7 gearbeitet werden, die keine besondere Spannungsfestigkeit erfordert, weil nur eine kleine Prüfspannung U_{AC} erzeugt wird. Das virtuelle Potential V_M wird über die aufgenommene Strom-Spannungs-Kennlinie 2 bestimmt, welche in Abwesenheit des Prüfsignals aufgenommen wurde. Somit entspricht das virtuelle Potential V_M dem momentanen Arbeitspunkt WP des Testobjekts 1, der sich aber im Betrieb kontinuierlich oder sprunghaft verändern kann.

Die zweite Spannungsmesseinheit 10 misst erfindungsgemäß die Prüfspannung U_{AC} hochgenau und gibt diese an die Automatisierungseinheit 6 weiter. Bei Anlegen der Prüfspannung U_{AC} wird diese im Betrieb auf die Gleichspannung U_{DC} aufgebracht und die Gesamtspannung U_{Ges} ändert sich dementsprechend. Das virtuelle Potential V_M entspricht aber, über die Relation in der Strom-Spannungs-Kennlinie 2, der Gleichspannung U_{DC} am Arbeitspunkt WP wie schon oben beschrieben wurde.

Der durch das Testobjekt 1 fließende Gesamtstrom I_{ges} sowie die am Testobjekt 1 anliegende Gesamtspannung U_{ges} setzen sich grundlegend aus dem Prüfstrom I_{AC} und dem Gleichstrom I_{DC} respektive aus der Prüfspannung U_{AC} und der Gleichspannung U_{DC} zusammen. Durch die vorliegende Anordnung wird die Prüfsignalquelle 7 über Referenzspannungsquelle 9 immer auf das Potential der Gleichspannung U_{DC} – welche das virtuelle Potential V_M darstellt - gehoben. Somit kann durchgehend ein Prüfsignal über die Prüfsignalquelle 7 eingeprägt werden, ohne die Limitationen eines Koppelkondensators. Folglich ist es damit möglich, nicht nur an einem stationären Arbeitspunkt WP ein Prüfsignal einzuprägen, sondern auch bei gewollten und ungewollten Änderungen des Arbeitspunkts WP. Die Referenzspannungsquelle 9 kann einen sehr geringen Innenwiderstand aufweisen, und weist daher wenig bis keinen Spannungsverlust auf. Somit kann durchgehend unterbrechungsfrei ein Prüfsignal eingeprägt werden, auch bei Überlagerungen der Frequenzbereiche, wie in Fig. 2b dargestellt worden ist.

Der Prüfstrom I_{AC} wird über die zweite Strommesseinheit 11 gemessen und der Automatisierungseinheit 6 zugeführt. Die zweite Strommesseinheit 11 kann prinzipiell den Prüfstrom I_{AC} in einer hohen Genauigkeit messen, beispielweise im Nano-Ampere nA bis Pico-Ampere pA Bereich. Somit kann die zweite Strommesseinheit 11 wesentlich genauere Messungen des Prüfsignals liefern als die erste Strommesseinheit 4. Es ist dann möglich, dass mittels Differenzbildung aus dem von der ersten Strommesseinheit 4 gemessenen Gesamtstrom $I_{Ges} = I_{AC} + I_{DC}$ und dem mit der zweiten Strommesseinheit 11 gemessenen Prüfstrom I_{AC} auch der Gleichstrom I_{DC} in der Automatisierungseinheit 6 ermittelt wird.

Somit kann der Arbeitspunkt WP anhand der aufgenommenen Strom-Spannungs-Kennlinie 2 variiert werden. Eine beispielhafte Rampe mit Verschiebung des Arbeitspunkts WP über den Gesamtstrom I_{ges} ist in Fig. 4b gegeben.

Die Automatisierungseinheit 6 kann eine Auswerteeinheit 60 aufweisen, welche ausgestaltet ist, die Gleichspannung U_{DC}, die Prüfspannung U_{AC} und den Prüfstrom I_{AC} sowie den Gleichstrom I_{DC} über den Belastungsstroms $I_{DC,soll}$ zur Durchführung eines Prüfvorgangs zu verarbeiten und auch darzustellen.

In Fig. 4a wird der Belastungsstroms $I_{DC,soll}$ von der Automatisierungseinheit 6 vorgegeben und ändert den Wert des Gleichstroms I_{DC} von einem ersten Wert $I_{1,Set}$ bis zu einem zweiten Wert $I_{2,Set}$ ab. In Fig. 4a ist beispielhaft eine gewollte Verschiebung des Arbeitspunkts WP in Form einer Rampe von einem ersten Wert $I_{1,Set}$ bis zu einem zweiten Wert $I_{2,Set}$ gegeben. Es sind aber auch andere Funktionen, abhängig von der Zeit denkbar, wie Kreisfunktionen (Sinus, Cosinus) oder stufenweise Erhöhungen des Gleichstrom I_{DC}. Der Prüfstrom I_{AC} wird über die Prüfsignalquelle 7 beispielsweise mit einer einzigen Einprägefrequenz f eingeprägt, wie in Fig. 4a gezeigt wird.

Fig. 4b zeigt die Strom-Spannungs-Kennlinie 2 mit der Gleichspannung U_{DC} und der überlagerten Prüfspannung U_{AC}. Abhängig von der Veränderung des Arbeitspunkts WP (gewollt oder ungewollt) kann nur ein Teil der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 abgetastet werden (wie in Fig. 4a mit der Rampe durchgeführt wird) oder auch die gesamte Strom-Spannungs-Kennlinie 2. In Fig. 4b ist der erste Quadrant der Strom-Spannungs-Kennlinie 2 vollständig abgetastet worden, beispielsweise mit der Rampe aus Fig. 4a von einem Arbeitspunkt WP mit niedrigem Gleichstrom I_{DC}, also $I_{1,set}$, zu einem Arbeitspunkt mit hohem Gleichstrom I_{DC}, also $I_{2,set}$. Abhängig von der Impedanz Z des Testobjekts 1 ist die Prüfspannung U_{AC} phasenverschoben zum Prüfstrom I_{AC}. Beispielsweise führen induktive und/oder kapazitive Anteile in einem Testobjekt 1 zu einer Phasenverschiebung um einen Winkel φ. Bei einer spektroskopischen Analyse – also mit unterschiedlichen Frequenzen – ist es daher möglich, unterschiedliche kapazitive, induktive und ohmsche Anteile zu messen.

Das ist vorteilhaft da dadurch verschiedene Effekte, wie Elektrolyt- oder Elektrodendegradation gemessen werden können.

Somit können Signaländerungen durch die Belastungseinheit 3, welche schneller als die Prüfsignale der Prüfsignalquelle 7 sein können, gemessen werden. Die Frequenzbereiche der Belastungseinheit 3 und des zumindest einen Prüfsignals können sich überlappen, wie in Fig. 2b dargestellt, aber es ist dennoch eine durchgehende unterbrechungsfreie Signaleinprägung bzw. Messung möglich.

Vorteilhafterweise wird eine solche Messstrategie von der Automatisierungseinheit 6 selbständig durchgeführt. Die Automatisierungseinheit 6 kann integraler Bestandteil eines Prüfstandes sein, oder als externe Einheit ausgeführt sein. So kann die Automatisierungseinheit 6 beispielsweise in einem Steuergerät eines Fahrzeugs (Control Unit oder kurz CU), in einem Batterie-Management-System (BMS), in einer Fuel Cell Control Unit (FCCU) etc. integriert sein.

Die Automatisierungseinheit 6 kann nun die Prüfspannung U_{AC} bevorzugterweise in der Auswerteeinheit 60 verarbeiten, um im jeweiligen Arbeitspunkt WP (d.h. bei der jeweiligen Gleichspannung U_{DC} und dem jeweiligen Gleichstrom I_{DC} Kennwerte des Testobjekts 1, wie z.B. frequenzabhängige Impedanzen, Oberwellen, Klirrfaktoren etc. zu ermitteln.

Patentansprüche

1. Testanordnung für eine Überprüfung eines Testobjekts (1), wobei in der Testanordnung eine Belastungseinheit (3) vorgesehen ist, welche mit einer Automatisierungseinheit (6) verbunden und ausgestaltet ist, einen von der Automatisierungseinheit (6) vorgegebenen Arbeitspunkt (WP) auf einer Strom-Spannungs-Kennlinie (2) des Testobjekts (1) mittels eines Gleichstroms (I_{DC}) vorzugeben, **dadurch gekennzeichnet dass** die Testanordnung zumindest aufweist: die Automatisierungseinheit (6), welche ausgestaltet ist, über eine erste Spannungsmesseinheit (5) und über eine erste Strommesseinheit (4) aus der Strom-Spannungs-Kennlinie (2) ein virtuelles Potential (V_M) zu bestimmen und über eine zweite Spannungsmesseinheit (10) und eine zweite Strommesseinheit (11) einen Prüfstrom (I_{AC}) und eine sich einstellende Prüfspannung (U_{AC}) zu messen; eine Prüfsignalquelle (7), welche mit der Automatisierungseinheit (6) verbunden ist und ausgestaltet ist, dem Testobjekt (1) den Prüfstrom (I_{AC}) einzuprägen; und eine Referenzspannungsquelle (9), welche mit der Automatisierungseinheit (6) verbunden und ausgestaltet ist, der Prüfsignalquelle (7) das virtuelle Potential (V_M) vorzugeben.

2. Testanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Automatisierungseinheit (6) ausgebildet ist, der Belastungseinheit (3) einen Belastungsstrom ($I_{DC,soll}$) vorzugeben.

3. Testanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Prüfsignalquelle (7) ausgebildet ist, den Prüfstrom (I_{AC}) mit zumindest einer Einprägefrequenz (f) in das Testobjekt (1) einzuprägen.

4. Testanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Prüfsignalquelle (7) ausgebildet ist, den Prüfstrom (I_{AC}) als Frequenzspektrum mit einer Mehrzahl an Frequenzen in das Testobjekt (1) einzuprägen.

5. Testanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Automatisierungseinheit (6) integraler Bestandteil eines Prüfstandes, oder eines Steuergeräts eines Fahrzeugs, oder eines Batteriemanagementsystems einer Batterie, oder einer Brennstoffzellensteuereinheit ist.

6. Testanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Belastungseinheit (3) abhängig vom Betriebsmodus des Testobjekts (1) ist, wobei die Belastungseinheit (3) eine spannungsgesteuerte Stromquelle oder ein Verbraucher ist.

7. Verfahren zur Überprüfung eines Testobjekts (1) mittels eines Prüfstroms (I_{AC}), wobei eine Automatisierungseinheit (6) folgende Schritte ausführt:
   - Aufnahme einer Strom-Spannungs-Kennlinie (2) unter Vorgabe eines Gleichstroms (I_{DC}) einer Belastungseinheit (3) über eine erste Spannungsmesseinheit (5) und einer ersten Strommesseinheit (4);
   - Errechnen eines virtuellen Potentials (V_M) auf Basis der aufgenommenen Strom-Spannungs-Kennlinie (2) und eines Arbeitspunkts (WP) und Vorgabe des virtuellen Potentials (V_M) über eine Referenzspannungsquelle (9) an eine Prüfsignalquelle (7);
   - Vorgabe des Prüfstroms (I_{AC}) über die Prüfsignalquelle (7), um dem Testobjekt (1) den Prüfstrom (I_{AC}) einzuprägen und Messen des Prüfstrom (I_{AC}) und einer sich einstellende Prüfspannung (U_{AC}) über eine zweite Spannungsmesseinheit (10) und eine zweite Strommesseinheit (11);
   - Variieren des Arbeitspunkts (WP) und Anpassen des virtuellen Potentials (V_M) auf Basis des aktuellen Arbeitspunkts (WP) über die Referenzspannungsquelle (9) an der Prüfsignalquelle (7).

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Spannungsmesseinheit (5) parallel zum Testobjekt (1) in einem Messtromkreis (12) eine Gesamtspannung (U_{Ges}), als Summe aus einer Gleichspannung (U_{DC}) und der Prüfspannung (U_{AC}), misst, und die erste Strommesseinheit (4) in Serie zum Messstromkreis (12) einen Gesamtstrom (I_{Ges}), als Summe aus dem Gleichstrom (I_{DC}) und dem Prüfstrom (I_{AC}) misst, und die Gesamtspannung (U_{Ges}) und der Gesamtstrom (I_{Ges}) an die Automatisierungseinheit (6) übermittelt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Spannungsmesseinheit (10) parallel zur Prüfsignalquelle (7) in einem Prüfstromkreis (12.1) die Prüfspannung (U_{AC}) misst, und die zweite Strommesseinheit (11) in Serie zum Prüfstromkreis (12.1) den Prüfstrom (I_{AC}) misst, und die Prüfspannung (U_{AC}) und der Prüfstrom (I_{AC}) an die Automatisierungseinheit (6) übermittelt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Prüfstrom (I_{AC}) mit zumindest einer Einprägefrequenz (f) in das Testobjekt (1) eingeprägt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass von einer Auswerteeinheit (60) in der Automatisierungseinheit (6) Kennwerte des Testobjekts (1), vorzugsweise frequenzabhängige Impedanzen, Oberwellen, Klirrfaktoren, ermittelt

werden.

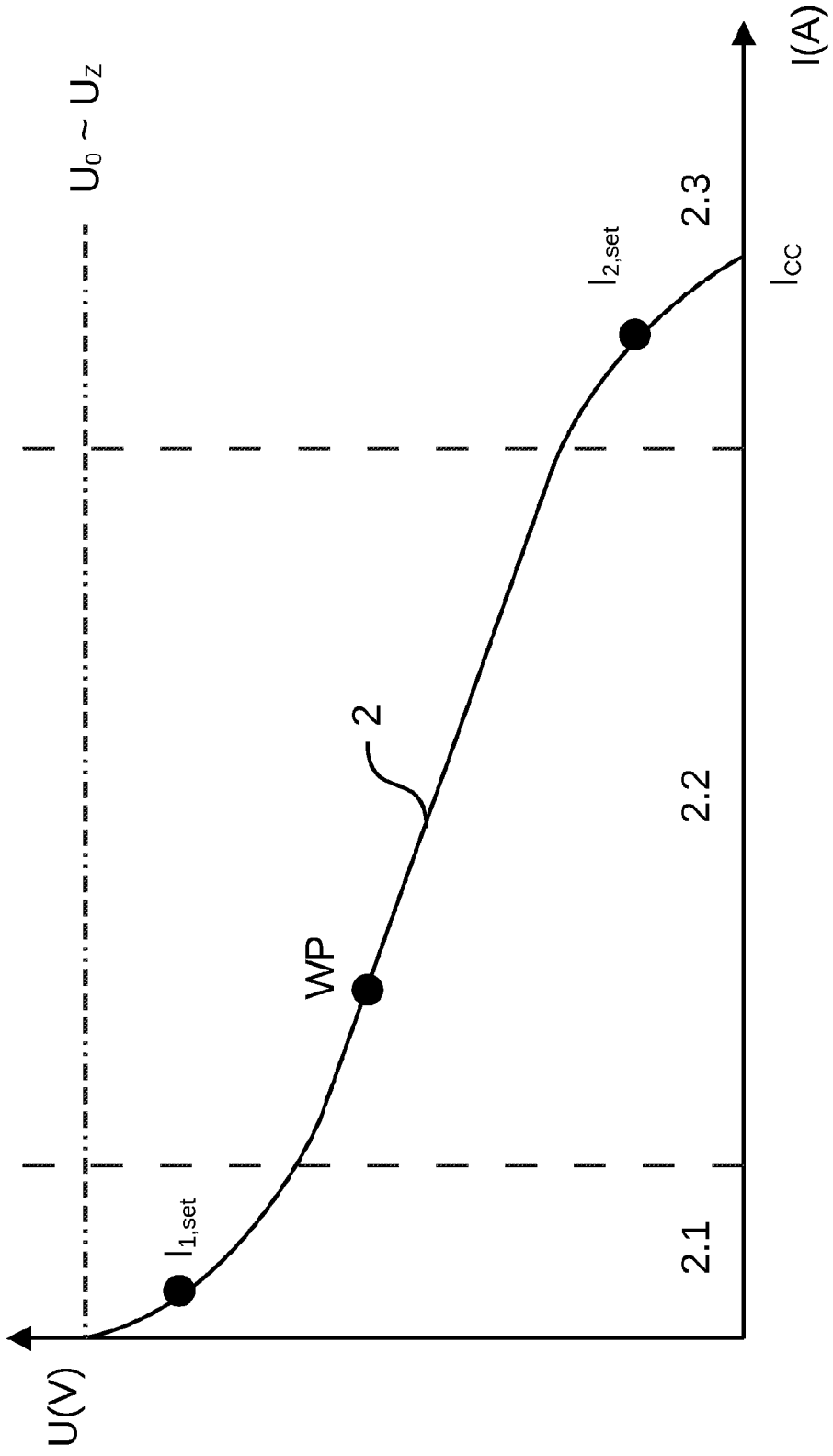


Fig.1

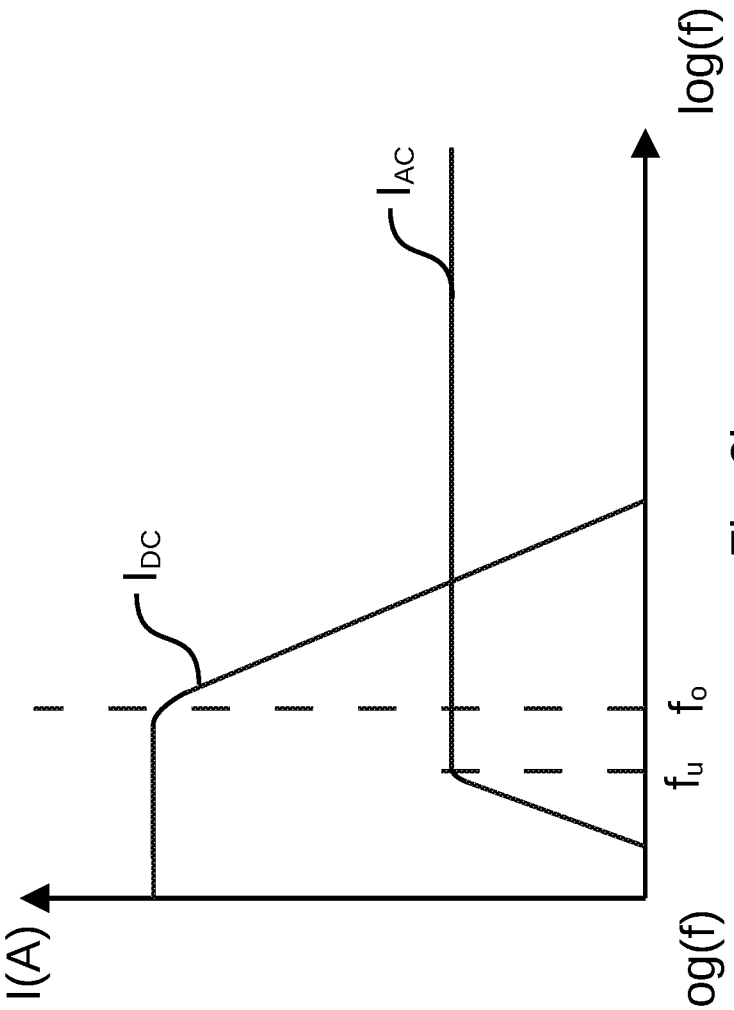


Fig. 2a

Fig. 2b

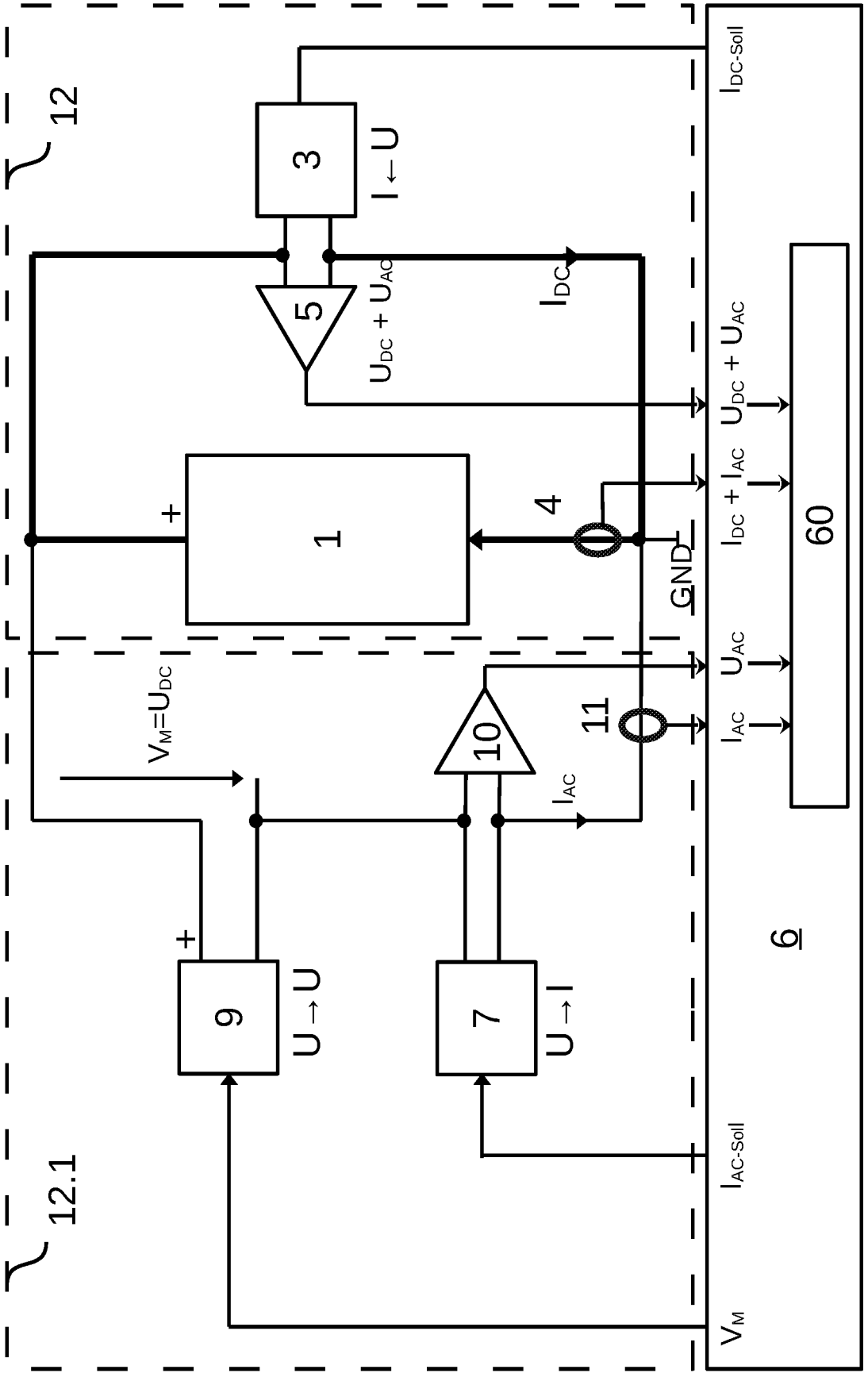

12
12.1
3
$I_{\leftarrow U}$
5
$U_{DC} + U_{AC}$
I_{DC}
1
4
+
GND
$I_{DC-Soll}$
$U_{DC} + U_{AC}$
$I_{DC} + I_{AC}$
U_{AC}
I_{AC}
60
$V_M=U_{DC}$
10
11
I_{AC}
9
$U\rightarrow U$
7
$U\rightarrow I$
6
$I_{AC-Soll}$
V_M

Fig.3

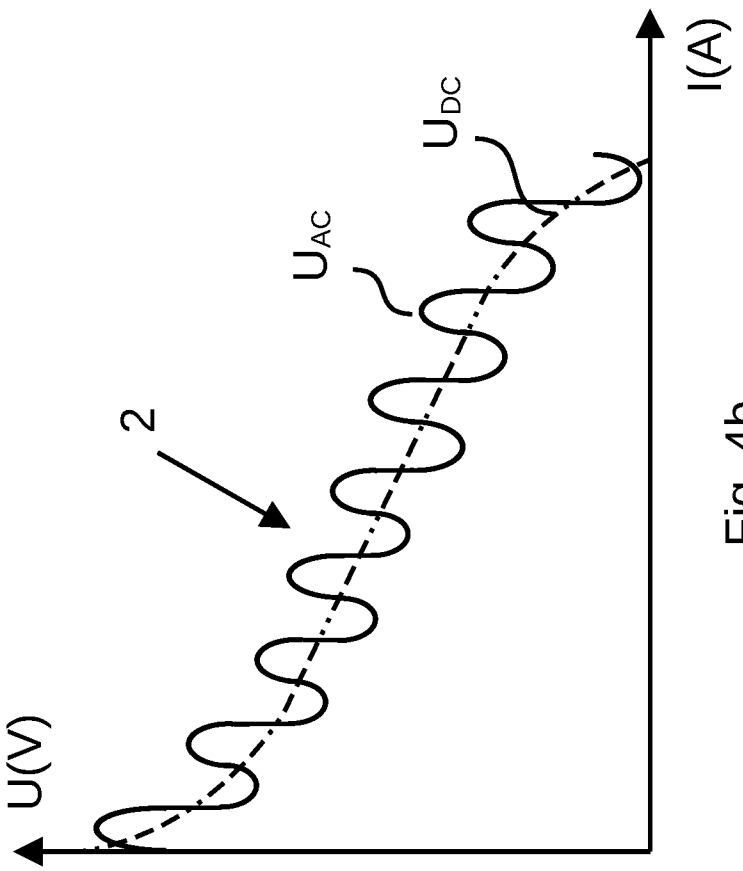


Fig. 4b

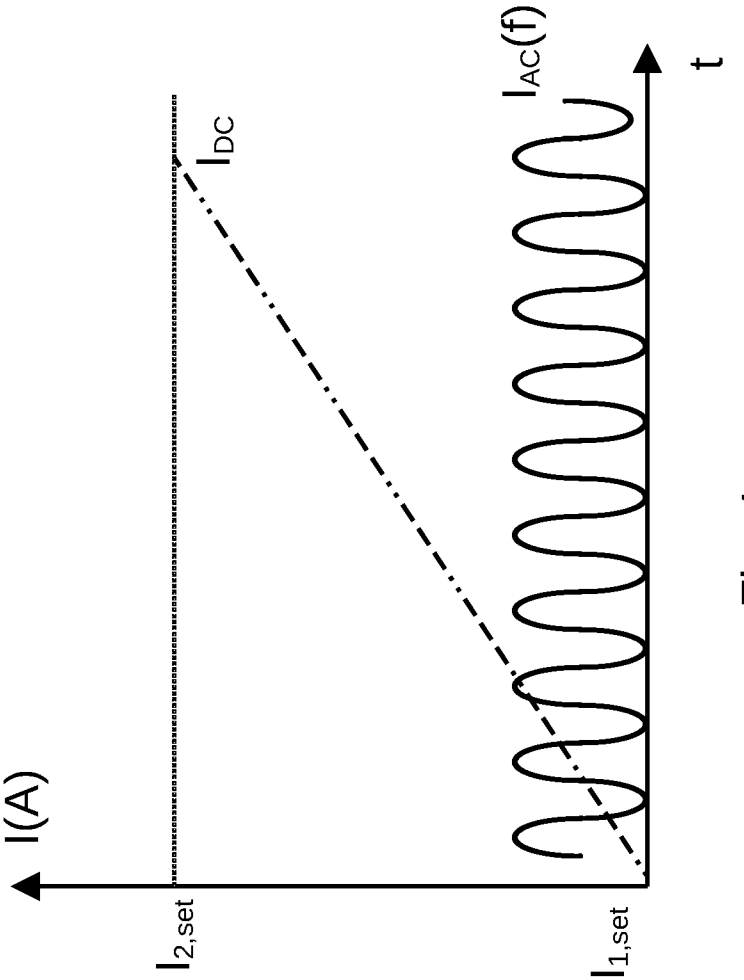


Fig. 4a

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/AT2023/060075

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/389(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R; H01M; H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	AT 510877 A1 (OESTERREICHISCHES FORSCHUNGS UND PRUEFZENTRUM ARSENAL GES M B H [AT]) 15 July 2012 (2012-07-15)	1,3-8,10,11
A	page 8 - page 17; claims 1-17; figures 1-5	2,9
Y	EP 3521838 A1 (UNIV GRAZ TECH [AT]; KOBER ENG GMBH [AT]) 07 August 2019 (2019-08-07)	1,3-8,10,11
A	paragraphs [0018] - [0033]; claims 1-12; figures 1-2	2,9
A	DE 102014225404 A1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD [KR]) 03 March 2016 (2016-03-03) the whole document	1-11
A	DE 102018124545 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 18 April 2019 (2019-04-18) the entire document	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 May 2023	**26 May 2023**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Bilzer, Claus** Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/AT2023/060075

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
AT 510877 A1	15 July 2012	AT 510877 A1	15 July 2012
		WO 2012088555 A1	05 July 2012
EP 3521838 A1	07 August 2019	NONE	
DE 102014225404 A1	03 March 2016	CN 105375044 A	02 March 2016
		DE 102014225404 A1	03 March 2016
		KR 101592760 B1	12 February 2016
		US 2016061902 A1	03 March 2016
DE 102018124545 A1	18 April 2019	CN 109655759 A	19 April 2019
		DE 102018124545 A1	18 April 2019
		US 2019115762 A1	18 April 2019

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2023/060075

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R31/389
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01R H01M H02J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y A	AT 510 877 A1 (OESTERREICHISCHES FORSCHUNGS UND PRUEFZENTRUM ARSENAL GES M B H [AT]) 15. Juli 2012 (2012-07-15) Seite 8 - Seite 17; Ansprüche 1-17; Abbildungen 1-5	1,3-8, 10,11 2,9
Y A	EP 3 521 838 A1 (UNIV GRAZ TECH [AT]; KOBER ENG GMBH [AT]) 7. August 2019 (2019-08-07) Absätze [0018] - [0033]; Ansprüche 1-12; Abbildungen 1-2	1,3-8, 10,11 2,9
A	DE 10 2014 225404 A1 (HYUNDAI MOTOR CO LTD [KR]) 3. März 2016 (2016-03-03) das ganze Dokument	1-11

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
16. Mai 2023	26/05/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bilzer, Claus

2

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2023/060075

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2018 124545 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 18. April 2019 (2019-04-18) das ganze Dokument	1-11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2023/060075

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
AT 510877 A1	15-07-2012	AT 510877 A1	15-07-2012
		WO 2012088555 A1	05-07-2012
EP 3521838 A1	07-08-2019	KEINE	
DE 102014225404 A1	03-03-2016	CN 105375044 A	02-03-2016
		DE 102014225404 A1	03-03-2016
		KR 101592760 B1	12-02-2016
		US 2016061902 A1	03-03-2016
DE 102018124545 A1	18-04-2019	CN 109655759 A	19-04-2019
		DE 102018124545 A1	18-04-2019
		US 2019115762 A1	18-04-2019