

(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
14. Dezember 2023 (14.12.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/237359 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/064189

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2023 (26.05.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 205 773.2
07. Juni 2022 (07.06.2022) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP MARINE SYSTEMS GMBH** [DE/DE]; Werftstr. 112-114, 24143 Kiel (DE).
THYSSENKRUPP AG [DE/DE]; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(72) Erfinder: **DANNENBERG, Norbert**; Dorfstraße 3a, 24220 Böhlhusen (DE). **MOHR, Malte**; Buchenweg 7,

24242 Felde (DE). **HEINZ, Stefan**; Sedanstrasse 5a, 24116 Kiel (DE).

(74) Anwalt: **THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH**; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (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, CV, CZ, 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: SUBMARINE WITH TWO DIFFERENT BATTERY SYSTEMS, AND OPERATING METHOD

(54) Bezeichnung: UNTERSEEBOOT MIT ZWEI UNTERSCHIEDLICHEN BATTERIESYSTEMEN UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN

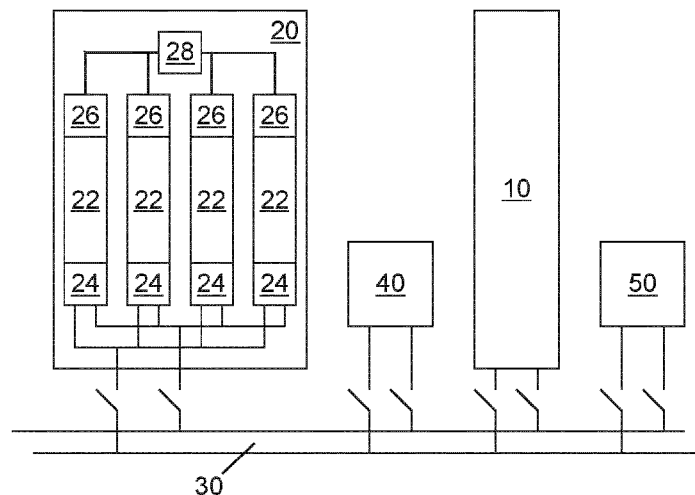


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a submarine with a first energy storage device (10), a second energy storage device (20), an on-board electrical system (30) and a generator (40), wherein the generator (40), the first energy storage device (10) and the second energy storage device (20) are releasably connected to the on-board electrical system (30), characterized in that the first energy storage device (10) comprises lead secondary elements and the second energy storage device (20) comprises lithium secondary elements or a nickel secondary element.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Unterseeboot mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10), einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20), einem Bordnetz (30) und einem Generator (40), wobei der Generator (40), die erste Energiespeichervorrichtung (10) und die zweite Energiespeichervorrichtung trennbar mit dem Bordnetz (30) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass (20) die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist.



WO 2023/237359 A2

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:

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

Unterseeboot mit zwei Unterschiedlichen Batteriesystemen und Verfahren zum Betreiben

Die Erfindung betrifft ein Unterseeboot mit einer konventionellen Blei-Batterie und einer
5 zweiten Batterie auf Lithium-Basis.

Konventionelle Unterseeboote haben üblicherweise einen Dieselantrieb für das Laden
der Batterie in Schnorchel- oder Überwasserfahrt, sowie für die Fahrt über Wasser und
eine Batterie für die Fahrt unter Wasser. Seit langem sind Blei-Batterien im Einsatz.
10 Vorteil der Bleibatterie ist, dass die einzelne Zelle so konstruiert werden kann, dass sie
an die Anforderungen an das Boot angepasst ist. Um den benötigten Spannungsbereich
für das Fahrnetz bereitzustellen, werden mehrere Zellen in Reihe geschaltet.
Insbesondere werden zum Aufbau der Netzspannung die einzelnen Zellen in Reihe zu
Teilbatterien geschaltet. Zur weiteren Erhöhung der Batteriekapazität und aus
15 Redundanzgründen können mehrere Teilbatterien parallelgeschaltet werden. Dieser
Batterietyp hat sich über die letzten Jahrzehnte bewährt und ist die Basis
beziehungsweise der Standard für konventionelle Unterseeboote.

Bei vielen Anwendungen setzen sich heute Batterien auf Lithium-Basis durch,
20 beispielsweise im Bereich der Automobilindustrie. In der technischen Anwendung für
Unterseeboote verlieren Lithium-Akkumulatoren jedoch gegenüber den klassischen Blei-
Akkumulatoren an Vorsprung insbesondere in Bezug auf den volumetrischen
Energieinhalt, da in diesem speziellen Bereich extrem große Energiemengen in den
Batterieräumen installiert werden müssen. Hierbei ist ein Punkt, dass die Elementarzelle
25 für Lithium-Akkumulatoren vergleichsweise kleinere Zellabmessungen aufweist als Blei-
Akkumulatoren, bei denen die einzelne Zelle einfach und vergleichsweise groß gebaut
werden kann. Die Lösung für die Integration einer Lithium Batterie auf Unterseebooten
ist derzeit, dass viele kleine Lithium Zellen in einem Modul zusammengefasst werden.
Die Module sind so gestaltet, dass sie in die Batterieräume von Unterseebooten
30 installierbar sind. Üblicherweise werden die Module zu Strängen zusammengefasst,
wobei die Stränge parallel nebeneinander unabhängig mit dem Bordnetz verbunden sind.

Aus der DE 10 2017 009 527 A1 ist ein Gleichspannungswandler für Lithium-Akkumulatoren bekannt.

5 Aus der DE 10 2014 109 092 A1 ist ein Antriebssystem für ein Unterseeboot mit einem Gleichspannungsnetz und mehreren Batteriesträngen bekannt. Die Batteriestränge sind über Stranganbindungseinheiten mit dem Gleichspannungsnetz verbunden. Der fließende Strangstrom wird durch die Stranganbindungseinheiten eingestellt.

10 Aus der WO 2006 / 122 395 A1 ist ein batteriebetriebenes Fahrzeug bekannt.

Aus der DE 10 2014 214 313 A1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erwärmung einer Batterie bekannt.

15 Aus der WO 2016 / 035 279 A1 ist ein Batteriesystem und ein elektrisches Fahrzeug bekannt.

Aus der DE 10 2015 100 624 A1 ist ein batteriebetriebenes Flurförderfahrzeug bekannt.

20 Aus der WO 2022 / 056 421 A1 ist eine Konfiguration eines Antriebsstranges mit zwei Energiespeichern bekannt.

Aus der JP 2012-235 610 A ist ein Batteriesystem bekannt.

25 Um die Zeit unter Wasser zu verlängern, werden heutzutage bei konventionellen Unterseebooten sogenannte Außenluft unabhängige Antriebssysteme eingesetzt, beispielsweise Brennstoffzellen. Diese können auch im getauchten Zustand Energie erzeugen. Ein solches System vergrößert aber auch üblicherweise die Baugröße des Unterseebootes und ist aufgrund seiner Komplexität mit zusätzlichen Beschaffungs- und Betriebskosten verbunden.

30 Es wäre jedoch wünschenswert, ein Unterseeboot mit einer verbesserten Standzeit unter Wasser auszustatten, wobei es nur mit einer Batterie, ohne zusätzliche Außenluft-

unabhängigen Antriebssystemen ausgestattet ist, so dass es klein und kompakt realisierbar bleibt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein batteriebetriebenes Unterseeboot mit verlängerter
5 Verweilzeit unter Wasser bereitzustellen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch das Unterseeboot mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie die Verfahren zum Betreiben eines solchen Unterseebootes mit den in an Ansprüchen 9, 14, 18 und 22 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen
10 ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

Das erfindungsgemäße Unterseeboot weist eine erste Energiespeichervorrichtung, eine zweite Energiespeichervorrichtung, ein Bordnetz und einen Generator auf. Der
15 Generator, die erste Energiespeichervorrichtung und die zweite Energiespeichervorrichtung sind mit dem Bordnetz verbunden. Hierbei ist die Verbindung zwischen der ersten Energiespeichervorrichtung und dem Bordnetz sowie zwischen der zweiten Energiespeichervorrichtung und dem Bordnetz trennbar. Bevorzugt ist auch der Generator trennbar mit dem Bordnetz verbunden. Trennbar verbunden heißt, dass diese
20 elektrisch vom Bordnetz getrennt werden können. Beispielsweise wird der Generator vom Bordnetz getrennt, wenn dieser nicht zur Stromerzeugung betrieben wird. Dieses kann in der einfachsten Ausführungsform durch einen Schalter erfolgen.

Erfindungsgemäß weist die erste Energiespeichervorrichtung Blei-Sekundärelemente und die zweite Energiespeichervorrichtung Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement auf. Es werden also zwei sehr unterschiedliche Technologien zur
25 Energiespeicherung verwendet und miteinander kombiniert. Dieses erhöht die Komplexität und verhindert, dass jede Technologie ihr volles Potential ausschöpfen kann. Beispielsweise ist der Vorteil der Lithium-Technologie gerade die höhere Energiedichte, sodass mit einer reinen Energiespeichervorrichtung ausschließlich mit Lithium-Sekundärelementen eine insgesamt höhere Kapazität erzielbare wäre bei weiterhin
30 reduzierter Komplexität, da nur eine Art des Batteriemanagements notwendig wäre. Die Verwendung zweier verschiedener Type von Sekundärelementen führt somit zu einer

erhöhten Komplexität sowie zu eben keiner Optimierung hinsichtlich einer Eigenschaft, beispielsweise der Kapazität. Daher wäre der Fachmann eigentlich bestrebt, nur einen Typ Sekundärelemente auszuwählen, welcher für die zu optimierende Eigenschaft, beispielsweise Kapazität oder Kosten, die optimalen Eigenschaften aufweist.

5

Ein wesentlicher Punkt ist auch, dass die erste Energiespeichervorrichtung und die zweite Energiespeichervorrichtung mit dem Bordnetz verbunden sind, beide speisen also in das gleiche Netz ein und erfüllen damit die gleiche Aufgabe. Die beiden unterschiedlichen Sekundärelemente dienen also nicht zur Energieversorgung verschiedener Bereiche oder Netze, sondern speisen in das gleiche Bordnetz ein.

10

Lithium-Sekundärelement ist im Sinne der Erfindung breit zu verstehen und umfasst alle derzeit bekannten Akkumulatoren mit Lithium, beispielsweise und insbesondere Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Lithium-Cobaltdioxid-Akkumulator, Lithium-Polymer-Akkumulator, Lithium-Mangan-Akkumulator, Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Akkumulator, Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator oder Lithium-Eisen-Yttrium-Phosphat-Akkumulator.

15

Nickel-Sekundärelement ist im Sinne der Erfindung breit zu verstehen und umfasst alle derzeit bekannten Akkumulatoren mit Nickel, beispielsweise und insbesondere Nickel-Cadmium-Akkumulatoren oder Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren.

20

Eine erste Energiespeichervorrichtung mit Blei-Sekundärelementen, auch Blei-Akkumulator genannt, weist eine ganz andere elektrische Charakteristik auf als eine zweite Energiespeichervorrichtung mit Lithium-Sekundärelementen, auch Lithium-Akkumulator genannt, oder Nickel-Sekundärelementen. Blei-Akkumulatoren können sehr leicht mit sehr großer Kapazität gebaut werden und sind dabei extrem kosteneffizient und im Einsatz bewährt. Dafür sind die Blei-Akkumulatoren vergleichsweise anspruchsvoll, was das Aufladen angeht. Des Weiteren kann die elektrische Kapazität nur optimal genutzt werden, wenn die Prozesse des Ladens und Entladens langsam und gleichförmig ablaufen. Lithium-Akkumulatoren oder Nickel-Akkumulatoren hingegen können ohne vergleichbare Einbußen in der Lebensdauer nahezu beliebig geladen und entladen werden, auch nur teilweise, und können auch sehr unterschiedliche Leistungen abgeben ohne, dass dies erhebliche Auswirkungen auf die elektrische Kapazität hat. Durch die

25

30

erfindungsgemäße Kombination aus einem Blei-Akkumulator und einem Lithium-Akkumulator oder Nickel-Akkumulator ist es möglich, die Vorteile der Charakteristiken der beiden Akkumulatortypen zu kombinieren, was sich in den im Folgenden diskutierten Verfahren zum Betreiben eines solchen Unterseebootes widerspiegelt. Alle diese
5 Verfahren eint, dass ein bevorzugt vergleichsweise großer und günstiger Blei-Akkumulator in einer besonders schonenden Weise betrieben werden kann, sodass dessen Kapazität und damit die Reichweite des Unterseebootes maximiert wird, wozu ein flexiblerer Lithium-Akkumulator oder Nickel-Akkumulator eingesetzt wird. Während bisher nur der vollständige Ersatz der Blei-Akkumulatoren durch Lithium-Akkumulatoren
10 diskutiert wurde, kann durch die Verbindung dieser sehr unterschiedlichen Akkumulatorentypen tatsächlich ein Mehrwert in Form einer erhöhten Kapazität und damit in einer erhöhten Standzeit unter Wasser erzielt werden.

Hier und im Folgenden wird von einer ersten Energiespeichervorrichtung, einer zweiten
15 Energiespeichervorrichtung und einem Bordnetz gesprochen. Unterseeboote sind jedoch üblicherweise redundant ausgelegt, sodass das Unterseeboot mindestens zwei getrennten Bordnetzsysteme aufweist, sodass selbst bei dem Ausfall eines Bordnetzsystems die Einsatzfähigkeit des Unterseebootes gegeben bleibt. Daher ist üblicherweise alles zumindest doppelt vorhanden. So gibt es in den meisten Fällen ein
20 erstes Teilbordnetz und ein zweites Teilbordnetz. Das erste Teilbordnetz und das zweite Teilbordnetz können über eine Bordnetztrennung elektrisch verbindbar und elektrisch trennbar sein, sodass beim Ausfall eines Teilbordnetzes das andere Teilbordnetz noch zur Verfügung steht. Das erste Teilbordnetz ist erfindungsgemäß mit einer ersten ersten Energiespeichervorrichtung und einer ersten zweiten Energiespeichervorrichtung
25 verbunden, das zweite Teilbordnetz ist entsprechend erfindungsgemäß mit einer zweiten ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten zweiten Energiespeichervorrichtung verbunden. Für jedes dieser beiden (oder auch drei oder mehr) Teilbordnetze gelten dann alle folgenden Ausführungen jeweils getrennt. Natürlich wäre es auch möglich, ein Teilbordnetz erfindungsgemäß und ein zweites Teilbordnetz
30 beispielsweise nach dem Stand der Technik auszuführen, beispielsweise um die neue Technologie einzuführen und den Vorteil zu nutzen und gleichzeitig ein bewährtes und bekanntes zweites Teilnetz zu haben, welches dem Betreiber des Unterseebootes eine absolute Gewissheit über die Einsatzfähigkeit des Unterseebootes verbindet.

Zwei Teilbordnetze können bevorzugt trennbar miteinander verbunden sein. Hierbei gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Möglichkeiten. Entweder sind die Teilbordnetzte im Regelbetrieb miteinander elektrisch verbunden oder diese sind im Regelbetrieb elektrisch voneinander getrennt. Im ersten Fall, in dem die Teilnetze im Normalfall elektrisch verbunden sind, werden nur im Fehlerfall die Teilbordnetze elektrisch getrennt. Für den zweiten Fall kann beispielsweise ein Verbinden erfolgen, wenn nur ein Landanschluss vorgesehen ist.

- 10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die Blei-Sekundärelemente der ersten Energiespeichervorrichtung zumindest teilweise in Reihe geschaltet. Die erste Energiespeichervorrichtung ist direkt mit dem Bordnetz verbunden. Unter direkt ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass die erste Energiespeichervorrichtung ohne eine galvanische Trennung oder Spannungsumformung, wie beispielsweise einen Gleichspannungswandler, Transformator oder andere entsprechende Bauteile mit dem Bordnetz verbunden ist. Um die trennbare Verbindung herzustellen, ist vorzugsweise ein Lastschalter angeordnet, um die erste Energiespeichervorrichtung vom Bordnetz zu trennen. Anstelle eines (mechanischen) Schalters kann auch eine andere Trennung vorgesehen sein, sodass die Verbindung stromlos ist. Dieses ist für Unterseeboote mit einem reinen Blei-Akkumulator die übliche Verbindungsweise.

- In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die zweite Energiespeichervorrichtung in Strängen angeordnet ist. Ein Strang ist jeweils alleine in der Lage, die für die Versorgung des Bordnetzes benötigte Spannung zur Verfügung zu stellen. Je nach Leistungsbedarf werden entsprechend viele Stränge mit dem Bordnetz verbunden. Somit ist durch die Anordnung in Strängen ein leistungsabhängiges Batteriemanagement möglich. Jeder Strang weist eine Mehrzahl an Lithium-Sekundärelementen oder Nickel-Sekundärelementen auf. Jeder Strang ist einzeln über einen Gleichspannungswandler trennbar und in seiner Leistungsabgabe regelbar mit dem Bordnetz verbunden. Durch den Gleichspannungswandler ist es möglich, das Spannungsniveau des Stranges gezielt anzupassen und an das durch das Bordnetz im aktuellen Fall vorgegebene Spannungsniveau anzupassen. Gleichzeitig wird dadurch eine galvanische Trennung erreicht. Da Lithium-Akkumulatoren oder Nickel-

Sekundärelementen im Kurzschlussfall einen wesentlich höheren Strom liefern können als Blei-Akkumulatoren besteht ohne eine solche Trennung ein erhöhtes Risiko, falls im Bordnetz ein Kurzschluss auftritt.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist jeder Strang ein Strang-Batteriemanagementsystem auf. Dadurch ist jeder Strang eine vollständig getrennte Einheit und der Ausfall eines Stranges hat keinen negativen Einfluss auf die weiteren Stränge. Gleichzeitig können alle Stränge jeweils optimal und individuell betrieben werden.

10

- In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die erste Energiespeichervorrichtung ein Batteriemonitoringsystem auf. Das Batteriemonitoringsystem kann beispielsweise und insbesondere Strom-, Spannungs- und Temperatursensoren von der ersten Energiespeichervorrichtung enthalten, um
15 beispielsweise die Abgabespannung, den Abgabestrom oder die Temperatur der ersten Energiespeichervorrichtung oder der einzelnen Blei-Akkumulatoren zu erfassen. Es kann aber auch weitere Sensoren umfassen, beispielsweise zur Erfassung des Kühlmittelflusses oder schädlicher Gase, insbesondere Wasserstoff, in der Umgebung der ersten Energiespeichervorrichtung. Im Gegensatz zu Lithium-Akkumulatoren ist für
20 Blei-Akkumulatoren kein vollständiges Batteriemanagementsystem üblich und notwendig. Es ist jedoch vorteilhaft, beispielsweise die Temperatur zu erfassen und zu überwachen. Zum Beispiel hat die Temperatur einen unmittelbaren Einfluss auf Spannung und verfügbare Kapazität. Die zweite Energiespeichervorrichtung weist ein Batteriemanagementsystem auf. Weiter weist das Unterseeboot eine Steuereinheit auf,
25 wobei die Steuereinheit mit dem Batteriemonitoringsystem und dem Batteriemanagementsystem verbunden ist. Die Steuereinheit ist dabei beispielsweise derart mit dem Batteriemonitoringsystem und dem Batteriemanagementsystem verbunden, dass es die jeweils erfassten Sensorwerte übermittelt bekommt und Sollwerte an das Batteriemanagementsystem übermitteln kann. Es kann auch vorgesehen sein,
30 dass die Steuereinheit die Trennung der Energiespeichervorrichtungen steuert. Alternativ kann beispielsweise das Batteriemanagementsystem anstelle der Sensorwerte auch die aus den Sensorwerten ermittelten Werte, insbesondere den Ladezustand übermitteln. Ist die zweite Energiespeichervorrichtung in Stränge aufgeteilt und weist jeder Strang ein

Strang-Batteriemanagementsystem auf, so ist das Batteriemanagementsystem hierarchisch über den Strang-Batteriemanagementsystemen aufgebaut und kann mit jedem Strang-Batteriemanagementsystem verbunden sein, um die erfassten Sensorwerte und/oder die aus den Sensorwerten abgeleiteten Größen zu erhalten, zu verarbeiten und Sollwertvorgaben zu übermitteln.

Es kann weiter vorgesehen sein, dass die Steuereinheit mit Strom-, Spannungs- und Temperatursensoren verbunden ist, die Werte an verschiedenen Stellen im Bordnetz erfassen. Die Steuereinheit ist damit in der Lage den Leistungsbedarf in einzelnen Teilnetzen oder an einzelnen Verbrauchern genauer zu erfassen und auszuwerten. Beispielsweise den Verbrauch des Fahrmotors oder den Verbrauch der Kleinverbraucher. Ebenso kann die Steuereinheit mit weiteren Sensoren, beispielsweise Raumüberwachungssystemen, wie Infrarotkameras, Rauch- oder Gasmeldern insbesondere zur Überwachung des Raumes oder der Räume, in denen die erste Energiespeichervorrichtung und die zweite Energiespeichervorrichtung angeordnet sind, verbunden sein. Hierdurch können insbesondere Fehlfunktionen leicht erkannt werden.

Die Steuereinheit kann ein Regelungsmodul umfassen, dass dazu ausgebildet ist, die erfassten Sensorwerte auszuwerten und entsprechend einer eigenen Logik Sollwertvorgaben zu erzeugen und auszugeben und insbesondere den Strom und/oder die Spannung der zweiten Energieeinheit zu regeln. Insbesondere kann das Regelmodul dazu ausgebildet sein, die im Folgenden dargestellten Verfahren auszuführen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Steuereinheit zur zeitaufgelösten Erfassung mittel entsprechender Strom- und Spannungssensoren der aus der ersten Energiespeichervorrichtung in das Bordnetz fließenden ersten Ströme ausgebildet. Ebenso ist die Steuereinheit zur zeitaufgelösten Erfassung mittels entsprechender Strom- und Spannungssensoren der aus der zweiten Energiespeichervorrichtung in das Bordnetz fließenden zweiten Ströme ausgebildet. Hierdurch kann nicht nur der aktuelle Stromfluss erfasst werden, sondern vielmehr kann insbesondere für die erste Energiespeichervorrichtung die noch zur Verfügung stehende Restkapazität aus diesen Daten ermittelt werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Leistung der zweiten Energiespeichervorrichtung in der Größenordnung der Leistung des Generators. Wenn also der Generator eine Maximalleistung von 1 MW leistet, so hat auch die zweite Energiespeichervorrichtung eine Maximalleistung von 1 MW. Hierbei ist nicht nur die rein mathematische Identität im Sinne der Erfindung als gleich zu sehen, sondern vielmehr ist
5 ausreichend, dass diese annähernd gleich groß sind, insbesondere in einem Bereich von $\pm 25\%$. Also würde im vorgenannten Beispiel die Energiespeichervorrichtung eine Maximalleistung von 0,75 bis 1,25 MW aufweisen. Vorteil einer solchen Dimensionierung ist es, dass die zweite Energiespeichervorrichtung als ein Lithium-Akkumulator oder
10 Nickel-Akkumulator sehr schnell geladen und entladen werden kann und auch Teilladungen technisch unproblematisch sind. Geht das Unterseeboot auch nur kurz an die Wasseroberfläche, so ist es dabei schnell möglich, das Maximum an Energie mit dem Generator zu erzeugen und in der zweiten Energiespeichervorrichtung zu speichern. Somit kann die gesamte Leistung des Generators genutzt werden, um die zweite
15 Energiespeichervorrichtung zu laden und somit in kürzester Zeit möglichst viel Energie bereitzustellen. Ist eine der beiden Komponenten auf eine kleinere Leistung ausgelegt, so würde diese die andere Komponente ausbremsen. Diese Energie steht dann nach dem Abtauchen wieder zur Verfügung. Mit einem Blei-Akkumulator wäre dieses nicht oder nur mit Einschränkung bei dessen Kapazität möglich. Auch bei einer parallelen
20 Aufladung gibt es im Ladezyklus eines Blei-Akkumulators Zeiten, in denen der Ladestrom kleiner wird und die dadurch freiwerdende Leistungsfähigkeit des Generators dann parallel zum Aufladen des Lithium-Akkumulators oder des Nickel-Akkumulators genutzt werden kann. Auch hier ist es vorteilhaft, wenn dann die restliche Leistung in den Lithium-Akkumulator geleitet werden kann. Damit kann die Zeit zum Aufladen beider
25 Energiespeichervorrichtungen minimiert werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung 2- bis 10-mal größer als die Kapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung. Bevorzugt ist die Kapazität der ersten
30 Energiespeichervorrichtung 3- bis 6-mal größer als die Kapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung. Blei-Akkumulatoren lassen sich leicht und zuverlässig vergleichsweise groß erstellen und einsetzen. Bereits durch einen vergleichsweise kleinen Lithium-Akkumulator, welcher beispielsweise nur 20 % der Gesamtkapazität

ausmacht, lässt sich jedoch schon ein deutlicher Mehrwert generieren und die Gesamtstandzeit unter Wasser verlängern.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Unterseeboot keine außenluftunabhängige Energieerzeugungsvorrichtung auf. Hierdurch ist eine einfachere und kompaktere Bauweise möglich. Selbst kleine Unterseeboote können so vergleichsweise einfach eine gesteigerte Performance aufweisen.

10 Im Folgenden werden nun Verfahren zum Betreiben eines solchen erfindungsgemäßen Unterseebootes beschrieben, welche sich durch die erfindungsgemäße Kombination eines Blei-Akkumulators und eines Lithium-Akkumulators erstmals ermöglichen.

15 In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten Energiespeichervorrichtung im Hochlastbetrieb. Hochlastbetrieb ist im Sinne der Erfindung so zu verstehen, dass die Systeme des Unterseebootes über das Bordnetz mehr als 50 % der maximal möglichen Leistung der ersten Energiespeichervorrichtung verbrauchen. Dieses kann beispielsweise dadurch geschehen, dass bei einer Transittfahrt mit hoher Geschwindigkeit eine hohe Leistung für den Fahrmotor benötigt wird. Der
20 Fahrmotor benötigt dazu beispielsweise seine maximale Versorgungsleistung. In dieser Konstellation speisen die erste Energiespeichervorrichtung einen ersten Strom und gleichzeitig die zweite Energiespeichervorrichtung einen zweiten Strom in das Bordnetz ein. Die erste Energiespeichervorrichtung weist Blei-Sekundärelemente auf, die zweite Energiespeichervorrichtung weist Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-
25 Sekundärelement auf. Die abgegebene Spannung von der zweiten Energiespeichervorrichtung wird über den Gleichspannungswandler auf das entladungsbedingte Spannungsniveau der ersten Energiespeichervorrichtung geregelt. Da die erste Energiespeichervorrichtung ein direkt mit dem Bordnetz verbundener Blei-Akkumulator ist, wird die Spannung des Bordnetzes durch die Spannung des Blei-Akkumulators in Abhängigkeit von dessen Ladezustand bestimmt. Durch den
30 Gleichspannungswandler kann die Ausgangsspannung der zweiten Energiespeichervorrichtung, des Lithium-Akkumulators, an diese Spannung angepasst werden, sodass Energie sowohl von der ersten Energiespeichervorrichtung als auch der

zweiten Energiespeichervorrichtung gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden kann. Der Effekt ist, dass der Entladestrom des Blei-Akkumulators reduziert wird. Hierdurch erhöht sich die aus der ersten Energiespeichervorrichtung insgesamt entnehmbare Energie und damit die Reichweite des Unterseeboots. Somit unterstützt der Lithium-Akkumulator den Blei-Akkumulator immer, wenn besonders hohe Stromflüsse den Blei-Akkumulator eigentlich besonders stark belasten und damit die nutzbare Energie stärker erniedrigen würde, als der genutzten Leistungsentnahme entspricht. Somit kann in Summe mehr elektrische Energie aus der bevorzugt deutlich größeren ersten Energiespeichervorrichtung genutzt werden, was letztendlich die Reichweite erhöht.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt, dass das Verhältnis dem Verhältnis zwischen der Restladung der zweiten Energiespeichervorrichtung zur Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung entspricht. Oder anders gesagt, bei konstanter Entladungen würde damit die Energie beider Energiespeichervorrichtungen gleichzeitig auf null laufen. Dadurch wird der Effekt der Erniedrigung des ersten Stromes und damit der Maximierung der aus der ersten Energiespeichervorrichtung nutzbaren Energie maximiert.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung aus dem bereits geflossenen ersten Strömen seit der letzten vollständigen Aufladung abgeschätzt. Besonders bevorzugt wird hierzu auch die Temperatur der ersten Energiespeichervorrichtung berücksichtigt. Dieses ist für Blei-Akkumulatoren die präziseste Art der Bestimmung der noch zur Verfügung stehenden Kapazität.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt, dass der zweite Strom auf null geregelt wird, wenn der erste Strom einen ersten Grenzstrom unterschreitet. Beispielsweise und bevorzugt wird der Grenzstrom auf 50 % des maximalen ersten Stromes (bei der Maximalleistung der ersten Energiespeichervorrichtung) festgelegt. Alternativ kann der Grenzstrom beispielsweise auf 30 % des maximalen ersten Stromes (bei der Maximalleistung der ersten Energiespeichervorrichtung) festgelegt werden. Hierdurch wird die zweite Energiespeichervorrichtung nur genutzt, wenn auch tatsächlich ein hoher erster Strom

fließt und damit der Effekt zur Erhöhung der nutzbaren Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung am Größten ist.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird für die Regelung des zweiten Stromes im Verhältnis zum ersten Strom ein Kennfeld verwendet, wobei das Kennfeld eine Fläche im Raum aus der Leistung der ersten Energiespeichervorrichtung, der Leistung der zweiten Energiespeichervorrichtung und der Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung ist. Durch dieses bevorzugt real erfasste Kennfeld werden alle Eigenschaften der ersten Energiespeichervorrichtung und der zweiten
10 Energiespeichervorrichtung berücksichtigt. Bevorzugt wird das Kennfeld im Verlauf der Lebensdauer des Unterseebootes aktualisiert, um das Kennfeld an die durch die Benutzung geänderten Charakteristika, insbesondere sinkende maximale Kapazität oder ähnliche Degradationseffekte, der ersten Energiespeichervorrichtung und der zweiten Energiespeichervorrichtung anpassen zu können.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt eine über die Stärke des ersten Stromes nicht lineare Anpassung des zweiten Stromes. Beispielsweise wird der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt, dass das Verhältnis dem Verhältnis zwischen der Restladung der zweiten Energiespeichervorrichtung zur Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung entspricht, wenn der erste Strom wenigstens 80 %
20 des maximalen ersten Stromes beträgt. Liegt der erste Strom zwischen 80 und 50 % des maximalen ersten Stromes, so wird beispielsweise der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt, dass das Verhältnis dem Verhältnis zwischen der Restladung der zweiten Energiespeichervorrichtung zur Restladung der ersten
25 Energiespeichervorrichtung entspricht, jedoch dividiert durch 2. Liegt der erste Strom unter 50 % des maximalen ersten Stromes, so wird beispielsweise der zweite Strom auf null gesetzt. Hierdurch wird die elektrische Energie aus dem zweiten Energiespeicher vor allem dann abgerufen, wenn diese den höheren Effekt auf die Erhöhung der effektiv nutzbaren Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung hat.

30 In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten Energiespeichervorrichtung im Niedriglastbetrieb. Niedriglastbetrieb ist im Sinne der

Erfindung so zu verstehen, dass die Systeme des Unterseebootes über das Bordnetz weniger als 50 % der maximal möglichen Leistung der ersten Energiespeichervorrichtung verbrauchen. Die erste Energiespeichervorrichtung weist Blei-Sekundärelemente auf, die zweite Energiespeichervorrichtung weist Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement auf. Zunächst übernimmt die zweite Energiespeichervorrichtung vollständig die Einspeisung in das Bordnetz, während der erste Strom null ist. Dieses kann beispielsweise und bevorzugt dadurch erfolgen, dass die Spannung durch die zweite Energiespeichervorrichtung höher als die Batteriespannung der ersten Energiespeichervorrichtung gewählt wird, wodurch nur die zweite Energiespeichervorrichtung einspeist. Die erste Energiespeichervorrichtung übernimmt die Einspeisung in das Bordnetz erst nachdem die zweite Energiespeichervorrichtung entladen ist. Dadurch wird die Kapazität des Blei-Akkumulators, der schwerer zu laden ist, geschont und zunächst die Energie aus dem Lithium-Akkumulator verwendet, der eben besonders einfach wieder aufgeladen werden kann. Dadurch können schnelle kurze Lade- und Entlade-Zyklen über den Lithium-Akkumulator abgefangen werden und auf diese Weise der Blei-Akkumulator geschont werden.

In einer Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass die zweite Energiespeichervorrichtung nur soweit entladen wird, dass eine Mindestenergiemenge in der zweiten Energiespeichervorrichtung erhalten bleibt. Die Mindestenergiemenge kann dabei beispielsweise zwischen 5 % und 25 % der Maximalkapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung gewählt werden oder so gewählt werden, dass das Unterseeboot mit der Mindestenergiemenge zumindest einen Auftauchvorgang durchführen kann. Diese Ausführung ist insofern besonders vorteilhaft, da damit in der zweiten Energiespeichervorrichtung immer ausreichend Energie vorhanden ist, um das Überleben des Unterseeboots abzusichern, auch wenn die erste Energievorrichtung unvorhergesehen ausfällt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung lädt während eines Auftauchens der Generator den zweiten Energiespeicher wieder auf. Anschließend übernimmt der zweite Energiespeicher nach dem Abtauchen wieder die Einspeisung in das Bordnetz. Hierdurch ist es möglich, auch vergleichsweise kleine Energiemengen während des Auftauchens zu erzeugen und zu speichern, was alleine mit einem Blei-Akkumulator aufgrund des

hohen Anforderung an Lade- und Entlade-Zyklen zur Erhaltung der optimalen Kapazität nicht möglich ist. Hierdurch können die beiden Technologien, der leicht großskalierbare Blei-Akkumulator und der sehr dynamisch verwendbare Lithium-Akkumulator, in gewinnbringender Weise kombiniert werden.

5

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung durchläuft während eines Entladezyklus der ersten Energiespeichervorrichtung die zweite Energiespeichervorrichtung eine Mehrzahl an Lade-Entladezyklen. Diese müssen hierbei nicht vollständig sein. Vielmehr können diese, da es sich bei der zweiten Energiespeichervorrichtung um einen Lithium-Akkumulator handelt, auch nur Teillade-Zyklen sein. Jeweils nach einem Ladezyklus der zweiten Energiespeichervorrichtung übernimmt zunächst die zweite Energiespeichervorrichtung vollständig die Einspeisung in das Bordnetz. Entsprechend ist dann der erste Strom null. Somit wird immer die zweite Energiespeichervorrichtung erst wieder entladen und so die verbleibende Restkapazität der ersten Energiespeichervorrichtung maximal gehalten.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Ladeverfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten Energiespeichervorrichtung im parallelen Ladebetrieb. Unter einem parallelen Ladebetrieb ist ein gleichzeitiges Laden zu verstehen, wobei das Laden auch für eine der beiden Energiespeichervorrichtungen fortgesetzt werden kann, wenn die andere bereits vollständig geladen ist oder das Laden für eine der beiden Energiespeichervorrichtungen vor dem Ladebeginn der anderen Energiespeichervorrichtungen begonnen werden kann. Die erste Energiespeichervorrichtung weist Blei-Sekundärelemente auf, die zweite Energiespeichervorrichtung weist Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement auf. Das Ladeverfahren weist für die erste Energiespeichervorrichtung eine erste Ladestufe und eine zweite Ladestufe auf. In der ersten Ladestufe wird mit einem konstanten Ladestrom oder einer konstanten Ladeleistung die erste Energiespeichervorrichtung geladen. Hierbei ist konstant nicht im streng physikalischen Sinne zu verstehen. Durch weitere Verbraucher, die an Bord des Unterseebootes verwendet werden, auch während eines Ladevorgangs, kann es zu Schwankungen kommen. Je geringer diese Schwankungen ausfallen, um so besser ist dieses jedoch für die Erhöhung der später maximal wieder entnehmbaren Energiemenge. Durch die

zunehmende Aufladung steigt die Spannung im Verlauf mit zunehmenden Ladezustand an, bis eine Grenzspannung erreicht ist, bei der die erste Ladestufe beendet ist. Die Grenzspannung liegt üblicherweise im Bereich der Soll-Spannung und ergibt sich aus den chemischen Eigenschaften der ersten Energiespeichervorrichtung und ist von der

5 Temperatur abhängig. Die an die erste Ladestufe anschließende zweite Ladestufe wird bei einer konstanten Spannung durchgeführt. Dadurch sinkt der Ladestrom dann mit zunehmender Ladung des Blei-Akkumulators kontinuierlich ab. Dieses ist üblich für Blei-Akkumulatoren. Während der zweiten Ladestufe wird die zweite Energiespeichervorrichtung parallel zur ersten Energiespeichervorrichtung geladen.

10 Hierzu kann beispielsweise der Ladestrom zu ersten Energiespeichervorrichtung gemessen werden und die zweite Energiespeichervorrichtung so geregelt werden, dass der erste Ladestrom zur ersten Energiespeichervorrichtung und der zweite Ladestrom zu zweiten Energiespeichervorrichtung der Leistungsfähigkeit des Generators entsprechen. Hierdurch wird der Effekt genutzt, dass der Ladestrom für den Blei-Akkumulator absinkt

15 und die überschüssige Leistung des Generators dann zur Aufladung des Lithium-Akkumulators verwendet werden kann. Da es bei einem Lithium-Akkumulator nicht diese Restriktionen beim Lade-Vorgang gibt, um die maximale Kapazität zu erreichen, wie dieses beim Blei-Akkumulator der Fall ist, kann so die Ladezeit optimal genutzt werden. Gleichzeitig wird der Generator damit in der zweiten Ladestufe nicht in einem ungünstigen

20 Betriebspunkt betrieben, was sonst bei sehr niedrigen Strömen der Fall sein kann. Damit wird der Betriebsstoffvorrat des Generators effizienter genutzt. Folglich kann die Gesamtreichweite des Unterseebootes gesteigert werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Laden der zweiten

25 Energiespeichervorrichtung in der zweiten Ladestufe der ersten Energiespeichervorrichtung fortgesetzt, nachdem die erste Energiespeichervorrichtung vollständig geladen wurde, wenn die zweite Energiespeichervorrichtung zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig geladen ist. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die erste Energiespeichervorrichtung vom Bordnetz getrennt wird, wenn der Ladestrom

30 zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung so groß ist wie der Abgabeladestrom des Generators.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung in der zweiten Ladestufe fortgesetzt, nachdem die zweite Energiespeichervorrichtung vollständig geladen wurde. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die zweite Energiespeichervorrichtung vom Bordnetz getrennt wird, wenn der

5 Ladestrom zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung null oder kleiner 1% des Abgabeladestroms des Generators ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung in der zweiten Ladestufe dadurch fortgesetzt, dass die

10 Spannung des Gleichspannungswandlers knapp unterhalb der Grenzspannung gehalten wird. Durch den Gleichspannungswandler ist es möglich, das Spannungsniveau des Lithium-Akkumulators gezielt anzupassen. Liegt beispielsweise die Grenzspannung bei 2,4 V pro Zelle bei 375 in Reihe geschalteten Zellen, also zum Beispiel bei 900 V, so kann die Spannung des Gleichspannungswandlers für die zweite

15 Energiespeichervorrichtung knapp darunter, beispielsweise auf 882 V gelegt werden. Wird nun ein entladener erster Energiespeicher geladen, so prägt dieser eine deutlich unter 882 V liegende Spannung auf das Bordnetz auf. Die Folge ist, dass praktisch die gesamte elektrische Leistung des Generators zur konstanten Ladung des Blei-Akkumulators verwendet wird (Schwankungen im Bordnetz durch weitere Verbraucher

20 vernachlässigt). Ist die Spannung der ersten Energiespeichervorrichtung durch den steigenden Ladezustand auf 882 V angestiegen, so wird die zweite Energiespeichervorrichtung gleichzeitig geladen, wobei der Anteil des ersten Stroms zum Laden der ersten Energiespeichervorrichtung zunächst höher ist als der zweite Strom zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung. Mit der Zeit aber verschiebt sich das

25 Verhältnis. Ist die zweite Energiespeichervorrichtung vollständig geladen, wird diese durch das Batteriemanagementsystem (auch als Schutz gegen Überladung) vom Bordnetz getrennt. Somit wird nur noch die erste Energiespeichervorrichtung geladen, wodurch die Spannung weiter steigt und die Grenzspannung von 900 V erreicht, wodurch dann eine Leistungsregulierung des Generators erfolgt, um die Spannung konstant zu

30 halten. Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass diese leicht in ein bestehendes System integriert werden kann und die Steuerung sehr leicht und einfach durch das für einen Lithium-Akkumulator notwendige Batteriemanagementsystem erfolgt. Nachteil ist, dass

es nach dem Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung zu einem kurzen Spannungssprung (im oben genannten Beispiel von 882 V auf 900 V) kommt.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung in der zweiten Ladestufe dadurch fortgesetzt, dass das Batteriemanagementsystem der Steuereinheit ein Signal gibt, sobald die zweite
10 Energiespeichervorrichtung vollständig geladen ist, wobei die Steuereinheit die Spannung des Generators erst nach Erhalt des Signals regelt. Durch diese aktive Rückkopplung wird ein Spannungssprung wie im vorgenannten Fall verhindert. Dafür wird das System insgesamt komplexer.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten Energiespeichervorrichtung: Die erste Energiespeichervorrichtung weist Blei-
15 Sekundärelemente auf, die zweite Energiespeichervorrichtung weist Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement auf. Erfindungsgemäß speisen die erste Energiespeichervorrichtung einen ersten Strom und gleichzeitig die zweite Energiespeichervorrichtung einen zweiten Strom in das Bordnetz ein. Die Spannung des
20 von der zweiten Energiespeichervorrichtung abgegebenen zweiten Stromes wird über den Gleichspannungswandler in Abhängigkeit der Abgabeleistung der ersten Energiespeichervorrichtung geregelt. Insbesondere ist es möglich, die zweite Energiespeichervorrichtung vom Bordnetz zu trennen, wenn Abgabeleistung der ersten Energiespeichervorrichtung gering ist. Ebenso ist es möglich, den zweiten Strom nicht
25 linear zum ersten Strom zu regeln, sondern einen nichtlinearen Zusammenhang zu verwenden. Der nichtlineare Zusammenhang kann stufenförmig sein und beispielsweise für geringe Abgabeleistungen der ersten Energiespeichervorrichtung auf null, gesetzt werden, bei mittleren Abgabeleistungen der ersten Energiespeichervorrichtung mit einem Skalierungsfaktor von 1 und bei hohen Abgabeleistungen der ersten
30 Energiespeichervorrichtung mit einem Skalierungsfaktor von 2 versehen werden. Ebenso kann der nichtlineare Zusammenhang ein Polynom, insbesondere zweiter Ordnung, oder exponentiell sein.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Ladeverfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung und einer zweiten Energiespeichervorrichtung im parallelen Ladebetrieb. Die erste Energiespeichervorrichtung weist Blei-Sekundärelemente auf, die zweite Energiespeichervorrichtung weist Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement auf. Das Ladeverfahren für die erste Energiespeichervorrichtung weist eine erste Ladestufe und eine zweite Ladestufe auf. In der ersten Ladestufe wird mit einem konstanten Ladestrom der ersten Energiespeichervorrichtung geladen. Durch den steigenden Ladezustand steigt die Spannung im Verlauf mit zunehmenden Ladezustand an, bis eine Grenzspannung erreicht ist, bei der die erste Ladestufe beendet ist. Die zweite Ladestufe wird bei einer konstanten Spannung durchgeführt. Dieses Verfahren ist üblich für Blei-Akkumulatoren. Während der ersten Ladestufe wird auch die zweite Energiespeichervorrichtung parallel geladen. Dadurch wird ein Teil des vom Generator erzeugten Ladestromes in die zweite Ladevorrichtung abgezogen, sodass der Ladestrom, welcher in die erste Energiespeichervorrichtung fließt, reduziert. Je geringer der Ladestrom ist, um so größer ist die absolut erzielbare Kapazität des Blei-Akkumulators in der ersten Ladestufe. Somit kann durch dieses Verfahren die gesamte zur Verfügung stehende Kapazität erhöht werden und damit die Ladezeit minimiert werden. Daraus resultiert, dass die Standzeit und/oder Reichweite unter Wasser gesteigert werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der zweite Strom zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung im Verhältnis zum ersten Strom zum Laden der ersten Energiespeichervorrichtung so gewählt, dass das Verhältnis der noch verbleibenden Restladekapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung im Verhältnis zur noch verbleibenden Restladekapazität der ersten Energiespeichervorrichtung ist. Hierdurch kann der Effekt maximiert werden, da der konstante Strom über die gesamte Ladezeit der ersten Ladestufe konstant erniedrigt wird.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Ladeverfahren für die erste Energiespeichervorrichtung zusätzlich eine dritte Ladestufe auf. Die dritte Ladestufe wird bei einem konstanten ersten Strom durchgeführt. Die elektrische Energie für die dritte Ladestufe wird durch die zweite Energiespeichervorrichtung bereitgestellt. Die hier

fließenden Ströme sind extrem gering, sodass die Benutzung des Generators extrem unwirtschaftlich wäre. Vielmehr kann beispielsweise anschließend die zweite Energiespeichervorrichtung durch einen kurzen Betrieb des Generators erneut vollständig geladen werden.

5 Nachfolgend ist das erfindungsgemäße Unterseeboot anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 erste Ausführungsform des Unterseebootes

10 Fig. 2 zweite Ausführungsform des Unterseebootes

Fig. 3 dritte Ausführungsform des Unterseebootes

Fig. 4 vierte Ausführungsform des Unterseebootes

Fig. 5 fünfte Ausführungsform des Unterseebootes

Fig. 6 erste Ausführungsform des Verfahren

15 Fig. 7 zweite Ausführungsform des Verfahren

Fig. 8 dritte Ausführungsform des Verfahren

Fig. 9 vierte Ausführungsform des Verfahren

In Fig. 1 ist ein erstes Bordnetz 30 eines erfindungsgemäßen Unterseeboots dargestellt.

20 Das Bordnetz 30 kann über einen Generator 40 mit Energie versorgt werden. Dieses erfolgt beispielsweise bei Überwasserfahrt mit Hilfe eines Dieselantriebs. Um auch getaucht Energie in das Bordnetz 30 einspeisen zu können, weist das Unterseeboot eine erste Energiespeichervorrichtung 10 und eine zweite Energiespeichervorrichtung 20 auf. Die erste Energiespeichervorrichtung 10 besteht aus beispielsweise 375 in Reihe geschalteten Blei-Sekundärelementen und liefert somit im voll aufgeladenen Zustand
25 eine Spannung von beispielsweise 900 V. Die erste Energiespeichervorrichtung 10 kann beispielsweise über den Generator 40 bei Überwasserfahrt geladen werden und bei Unterwasserfahrt Energie über das Bordnetz 30 an einen Verbraucher 50, beispielsweise den Fahrmotor, abgeben. Solche Unterseeboote sind seit Jahrzehnten bekannt.
30 Erfindungswesentlich tritt nun eine zweite Energiespeichervorrichtung 20 hinzu. Die beispielhaft dargestellte zweite Energiespeichervorrichtung 20 weist vier Stränge 22 auf. Jeder Strang ist über einen Gleichspannungswandler 24 mit dem Bordnetz 30 verbunden. Hierdurch ist eine gezielte Ansteuerung möglich. Des Weiteren wird durch eine

galvanische Trennung im Gleichspannungswandler 24 das Risiko bei einem Kurzschluss im Bordnetz 30 oder einem Verbraucher 50 reduziert, da der maximal fließende Strom begrenzt werden kann. Jeder Strang 22 weist ein Strang-Batteriemanagementsystem 26 auf, welches zum Beispiel den Ladezustand überwacht, aber auch beispielsweise mittels

5 Sensoren den Gesundheitszustand der Lithium-Sekundärelemente überwacht. Die vier Strang-Batteriemanagementsysteme 26 werden hierarchisch von einem Übergeordneten Batteriemanagementsystem 28 geregelt, welches zum Beispiel die Lastverteilung auf die verschiedenen Stränge 22 übernimmt und beispielsweise regelt, wann welcher Strang 22 auf welche Weise mit dem Bordnetz 30 verbunden oder von diesem getrennt ist.

10

Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform, die sich von der ersten Ausführungsform durch eine zusätzliche Steuereinheit 60 unterscheidet. Weiter weist die erste Energiespeichervorrichtung 10 ein Batteriemonitoringsystem 12 auf. Die Steuereinheit 60 ist mit dem Batteriemonitoringsystem 12 und dem Batteriemanagementsystem 28

15 verbunden.

Beispielsweise kann die Steuereinheit 60 zur Erfassung des aus der ersten Energiespeichervorrichtung 10 fließenden ersten Strom und dem aus der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 fließenden zweiten Strom ausgebildet sein und aus der

20 damit vom Bordnetz 30 geforderten Last mit Hilfe eines Kennfeldes den Soll-Beitrag der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 ermitteln und diesen an das Batteriemanagementsystem 28 übermitteln. Bevorzugt wird auch jeweils die Spannung erfasst und so die real geflossenen Energien ermittelt. Das Batteriemanagementsystem 28 kann dieses dann insbesondere durch Regelung der Gleichspannungswandler 24

25 umsetzen. Als weitere Regelgrößen können hierbei beispielsweise Temperaturen eingehen. Temperaturen haben auch einen Einfluss auf die zur Verfügung stehende Kapazität einer Batterie, sodass neben der tatsächlich bereits geflossenen Ladung auch die Temperatur eine Rolle spielt. Zusätzlich können das Alter oder andere Informationen über den Gesundheitszustand der Batterien Einfluss nehmen. Dieses dient jeweils dazu,

30 die tatsächlich noch aus den Energiespeichervorrichtungen entnehmbare Restkapazität möglichst gut abzuschätzen.

Die in Fig. 3 gezeigte dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der zweiten Ausführungsform durch eine zusätzliche Verbindung zwischen dem Batteriemonitoringsystem 12 und dem Generator 40. Diese Regelungsmöglichkeit kann zum Laden der ersten Energiespeichervorrichtung 10 verwendet werden. Beispielsweise wird über diese Verbindung der Generator 40 nach dem Erreichen der Grenzspannung, beispielsweise von 900 V, geregelt, um die Spannung konstant zu halten und die Energieerzeugung an die Lastaufnahme anzupassen. In dieser Ausführungsform kann beispielsweise das Batteriemanagementsystem 28 die Gleichspannungswandler 24 auf eine Spannung knapp unterhalb der Grenzspannung, beispielsweise 882 V legen. Bei niedrigen Ladezustand der ersten Energiespeichervorrichtung 10 liegt die Spannung der ersten Energiespeichervorrichtung 10 deutlich niedriger. Im Ergebnis fließt ein erster Ladestrom in die erste Energiespeichervorrichtung 10 und kein Strom in die zweite Energiespeichervorrichtung 20. Dieses entspricht der ersten Ladestufe, es erfolgt ein Laden des Blei-Akkumulators mit einem konstanten Strom. Mit Erreichen eines Ladezustands der ersten Energiespeichervorrichtung 10, welcher einer Spannung von 882 V entspricht, fließt nun auch ein zweiter Ladestrom parallel zum ersten Ladestrom in die zweite Energiespeichervorrichtung 20. Dieses entspricht der zweiten Ladestufe, dem Laden bei konstanter Spannung. Ist die zweite Energiespeichervorrichtung 20 vollständig geladen, trennt das Batteriemanagementsystem 28 die Stränge 22 vom Bordnetz (Überladeschutz). Dadurch steigt die Spannung bis auf die Grenzspannung von beispielsweise 900 V an und der Generator 40 wird durch die Verbindung mit dem Batteriemonitoringsystem 12 nun auf konstant 900 V gehalten und die zweite Ladestufe alleine mit der ersten Energiespeichervorrichtung 10 fortgesetzt.

Die in Fig. 4 gezeigte vierte Ausführungsform weist einen zusätzlichen Regelschalter 70 auf, welcher mit dem Batteriemonitoringsystem 12 und dem Batteriemanagementsystem 28 verbunden ist. Der Regelschalter 70 übernimmt die Aufgabe der Regelung des Generators 40 derart, dass der Generator erst auf eine konstante Spannung geregelt wird, wenn die zweite Energiespeichervorrichtung 20 vollständig geladen ist. Dadurch kann die Ladung der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 bei den beispielsweise 900 V erfolgen, sodass es nach dem Trennen der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 vom Bordnetz 30 nicht zu einem Spannungsanstieg kommt, sondern die zweite Ladestufe weiter bei konstanter Spannung durchgeführt werden kann.

Die in Fig. 5 gezeigte fünfte Ausführungsform unterscheidet sich von der dritten Ausführungsform dadurch, dass keine direkte Verbindung zwischen der Steuereinheit 60 und dem Batteriemonitoringsystem 12 besteht, sondern, dass die die Steuereinheit 60 eine Verbindung zum Generator 40 hat. Auch hier erfolgt ein paralleles Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 in der zweiten Ladestufe, wobei diese bei der Grenzspannung geladen wird. Eine Stabilisierung der Netzspannung im Bordnetz 30 erfolgt in diesem Fall über den Generator 40.

10 In Fig. 6 bis Fig. 9 sind nun verschiedene Verwendungen der ersten Energiespeichervorrichtung 10 und der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 gezeigt. die gestrichelte Linie bezieht sich jeweils auf die erste Energiespeichervorrichtung 10 (Blei-Akkumulator) und die durchgezogene Linie jeweils auf die zweite Energiespeichervorrichtung 20 (Lithium-Akkumulator). Für alle gezeigten Fälle wurde rein
15 beispielhaft angenommen, dass die Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung 10 fünfmal größer ist als die Kapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung 20.

Fig. 6 zeigt eine erste Ausführungsform des Verfahrens. Dieses wäre ein optimaler Betrieb des Unterseebootes im Niedriglastbetrieb, beispielsweise einer getauchten
20 Überwachung an einem Ort. In regelmäßigen Abständen taucht das Unterseeboot auf, beispielsweise um Daten zu senden und zu empfangen. In dieser Zeit kann mit dem Generator 40 die zweite Energiespeichervorrichtung 20 jeweils wieder teilweise geladen werden, erkennbar an den sprunghaften Anstiegen der unteren durchgezogenen Linie. Im getauchten Zustand wird jeweils zunächst die Energie nur aus der zweiten
25 Energiespeichervorrichtung 20 in das Bordnetz 30 eingespeist (durchgezogene Linie sinkt ab, gestrichelte Linie bleibt konstant). Erst wenn die zweite Energiespeichervorrichtung 20 leer ist, speist die erste Energiespeichervorrichtung 10 Energie in das Bordnetz 30 ein (gestrichelte Linie sinkt ab, durchgezogene Linie bleibt konstant auf 0). Dieses jeweilige anteilige kurze aufladen ist für die erste
30 Energiespeichervorrichtung 10 unvorteilhaft (diese kann nicht wie bei einem Auto nach drei oder vier Jahren mal schnell ausgetauscht werden). Daher ermöglicht die zusätzliche Verwendung einer zweiten Energiespeichervorrichtung mit Lithium-Akkumulatoren die

Nutzung auch dieser kurzfristigen Energieerzeugung und verlängert so massiv die Standzeit unter Wasser.

Fig. 7 zeigt alternativ eine zweite Ausführungsform im Hochlastbetrieb, beispielsweise bei einer getauchten Transitfahrt. Um die Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung 10 optimal nutzen zu können sind möglichst geringe erste Ströme wünschenswert. Daher wird hier (unter der oben genannten Annahme des Kapazitätsverhältnisses von 5:1) der zweite Strom (durchgezogene Linie), welcher aus der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 entnommen wird, immer auf 20 % des ersten Stromes (gestrichelte Linie), welcher aus der ersten Energiespeichervorrichtung 10 entnommen wird, gesetzt. In der Summe wird somit immer $\frac{1}{6}$ der Energie aus der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 und $\frac{5}{6}$ der Energie aus der ersten Energiespeichervorrichtung 10 entnommen, was dazu führt, dass die erste Energiespeichervorrichtung 10 und die zweite Energiespeichervorrichtung 20 zum gleichen Zeitpunkt die Kapazität 0 erreichen.

Während die erste Ausführungsform und die zweite Ausführungsform des Verfahrens sich mit dem Entladen befassen, beziehen sich die dritte Ausführungsform und die vierte Ausführungsform auf das Laden.

Bei der in Fig. 8 gezeigten dritten Ausführungsform erfolgt ein paralleles Laden in der ersten Ladestufe. Dadurch wird der konstante erste Strom (gestrichelte Linie), welcher in die erste Energiespeichervorrichtung 10 fließt etwas erniedrigt, wodurch insgesamt die Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung 10 gesteigert werden kann. Daher ist in der ersten Ladestufe ein ebenfalls konstanter geringerer Ladestrom (durchgezogene Linie) zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 erkennbar, der mit Beginn der zweiten Ladestufe (Konstante Spannung) auf null zurückgeht.

Ist hingegen ein schnelles Aufladen der beiden Energiespeichervorrichtungen gewünscht, so kann gemäß der in Fig. 9 gezeigten vierten Ausführungsform das Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung 20 in der zweiten Ladestufe erfolgen. In der ersten Ladestufe wird nur die erste Energiespeichervorrichtung 10 geladen (hoher Strom, gestrichelte Linie). Mit dem Erreichen der Grenzspannung und damit dem Beginn der

zweiten Ladestufe wird die zweite Energiespeichervorrichtung 20 geladen, wozu die vom Generator 40 erzeugbare, aber von der ersten Energiespeichervorrichtung 10 nicht mehr benötigte Leistung verwendet wird, wodurch die zweite Energiespeichervorrichtung 20 ohne zusätzlichen Zeitaufwand parallel geladen wird.

5

Bezugszeichen

	10	erste Energiespeichervorrichtung
	12	Batteriemonitoringsystem
	20	zweite Energiespeichervorrichtung
10	22	Strang
	24	Gleichspannungswandler
	26	Strang-Batteriemanagementsystem
	28	Batteriemanagementsystem
	30	Bordnetz
15	40	Generator
	50	Verbraucher
	60	Steuereinheit
	70	Regelschalter

Patentansprüche

1. Unterseeboot mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10), einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20), einem Bordnetz (30) und einem Generator (40),
5 wobei der Generator (40), die erste Energiespeichervorrichtung (10) und die zweite Energiespeichervorrichtung trennbar mit dem Bordnetz (30) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** (20) die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist.
10
2. Unterseeboot nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Blei-Sekundärelemente der ersten Energiespeichervorrichtung (10) in Reihe geschaltet sind, wobei die erste Energiespeichervorrichtung (10) direkt mit dem
15 Bordnetz (30) verbunden ist.
3. Unterseeboot nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Energiespeichervorrichtung (20) in Strängen angeordnet ist, wobei jeder Strang (22) eine Mehrzahl an Lithium-Sekundärelementen aufweist, wobei jeder Strang (22) einzeln über einen
20 Gleichspannungswandler (24) trennbar und regelbar mit dem Bordnetz (30) verbunden ist.
4. Unterseeboot nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Strang (22) ein Strang-Batteriemanagementsystem (26) aufweist.
25
5. Unterseeboot nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) ein Batteriemonitoringsystem (12) aufweist, wobei die zweite
30 Energiespeichervorrichtung (20) ein Batteriemanagementsystem (28) aufweist, wobei das Unterseeboot eine Steuereinheit (60) aufweist, wobei die Steuereinheit (60) mit dem Batteriemonitoringsystem (12) und dem Batteriemanagementsystem (28) verbunden ist.

6. Unterseeboot nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (60) zur zeitaufgelösten Erfassung der aus der ersten Energiespeichervorrichtung (10) in das Bordnetz (30) fließenden ersten Ströme ausgebildet ist, wobei die Steuereinheit (60) zur zeitaufgelösten Erfassung der aus der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) in das Bordnetz (30) fließenden zweiten Ströme ausgebildet ist.
7. Unterseeboot nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leistung der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) $\pm 20 \%$ gleich der Leistung des Generators (40) ist.
8. Unterseeboot nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapazität der ersten Energiespeichervorrichtung (10) 2- bis 10-mal größer ist als die Kapazität der zweiten Energiespeichervorrichtung (20).
9. Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10) und einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20), **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist, wobei die erste Energiespeichervorrichtung (10) einen ersten Strom und gleichzeitig die zweite Energiespeichervorrichtung (20) einen zweiten Strom in das Bordnetz (30) einspeisen, wobei die Spannung des von der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) abgegebenen zweiten Stromes über den Gleichspannungswandler (24) auf das landungsbedingte Spannungsniveau der ersten Energiespeichervorrichtung (10) geregelt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt wird, dass das Verhältnis dem Verhältnis zwischen der Restladung der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) zur Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung (10) entspricht.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung (10) aus dem bereits geflossenen ersten Strömen seit der letzten vollständigen Aufladung abgeschätzt wird.
- 5 12. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Strom im Verhältnis zum ersten Strom so geregelt wird, dass der zweite Strom auf null geregelt wird, wenn der erste Strom einen ersten Grenzstrom unterschreitet.
- 10 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Regelung des zweiten Stroms im Verhältnis zum ersten Strom ein Kennfeld verwendet wird, wobei das Kennfeld eine Fläche im Raum aus der Leistung der ersten Energiespeichervorrichtung (10), der Leistung der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) und der Restladung der ersten Energiespeichervorrichtung (10) ist.
- 15 14. Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10) und einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20) im Niedriglastbetrieb, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die
- 20 zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist, wobei zunächst die zweite Energiespeichervorrichtung (20) vollständig die Einspeisung in das Bordnetz (30) übernimmt, der erste Strom null ist, wobei die erste Energiespeichervorrichtung (10) die Einspeisung in das Bordnetz (30) übernimmt, nachdem die zweite
- 25 Energiespeichervorrichtung (20) entladen ist.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** während eines Auftauchens der Generator (40) den zweiten Energiespeicher wieder auflädt, wobei der zweite Energiespeicher nach dem Abtauchen wieder die Einspeisung in
- 30 das Bordnetz (30) übernimmt.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** während eines Entladezyklus der ersten Energiespeichervorrichtung (10) die zweite Energiespeichervorrichtung (20) eine Mehrzahl an Lade-Entladezyklen

durchläuft, wobei jeweils nach einem Ladezyklus der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) zunächst die zweite Energiespeichervorrichtung (20) vollständig die Einspeisung in das Bordnetz (30) übernimmt, der erste Strom null ist.

5

17. Verfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10) und einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20), **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist, wobei die erste Energiespeichervorrichtung (10) einen ersten Strom und gleichzeitig die zweite Energiespeichervorrichtung (20) einen zweiten Strom in das Bordnetz (30) einspeisen, wobei die Spannung des von der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) abgegebenen zweiten Stromes über den Gleichspannungswandler (24) in Abhängigkeit der Abgabeleistung der ersten Energiespeichervorrichtung (10) geregelt wird.

10

15

20

25

30

18. Ladeverfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10) und einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20) im parallelen Ladebetrieb, wobei das Ladeverfahren für die erste Energiespeichervorrichtung (10) eine erste Ladestufe und eine zweite Ladestufe aufweist, wobei in der ersten Ladestufe mit einem konstanten Ladestrom oder Ladeleistung die erste Energiespeichervorrichtung (10) geladen wird, wobei die Spannung im Verlauf mit zunehmenden Ladezustand ansteigt, bis eine Grenzspannung erreicht ist, bei der die erste Ladestufe beendet ist, wobei die zweite Ladestufe bei einer konstanten Spannung durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist, wobei während der zweiten Ladestufe die zweite Energiespeichervorrichtung (20) parallel zur ersten Energiespeichervorrichtung (10) geladen wird.

19. Ladeverfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung (10) in der zweiten Ladestufe fortgesetzt wird, nachdem die zweite Energiespeichervorrichtung (20) vollständig geladen wurde.
- 5 20. Ladeverfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung (10) in der zweiten Ladestufe dadurch fortgesetzt wird, dass die Spannung des Gleichspannungswandlers (24) knapp unterhalb der Grenzspannung gehalten wird.
- 10 21. Ladeverfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Laden der ersten Energiespeichervorrichtung (10) in der zweiten Ladestufe dadurch fortgesetzt wird, dass das Batteriemanagementsystem (28) der Steuereinheit (60) ein Signal gibt, sobald die zweite Energiespeichervorrichtung (20) vollständig geladen ist, wobei die Steuereinheit (60) die Spannung des Generators (40) erst
- 15 nach Erhalt des Signals regelt.
22. Ladeverfahren zum Betreiben eines Unterseebootes mit einer ersten Energiespeichervorrichtung (10) und einer zweiten Energiespeichervorrichtung (20) im parallelen Ladebetrieb, wobei das Ladeverfahren für die erste
- 20 Energiespeichervorrichtung (10) eine erste Ladestufe und eine zweite Ladestufe aufweist, wobei in der ersten Ladestufe mit einem konstanten Ladestrom die erste Energiespeichervorrichtung (10) geladen wird, wobei die Spannung im Verlauf mit zunehmenden Ladezustand ansteigt, bis eine Grenzspannung erreicht ist, bei der die erste Ladestufe beendet ist, wobei die zweite Ladestufe bei einer konstanten
- 25 Spannung durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Energiespeichervorrichtung (10) Blei-Sekundärelemente aufweist, wobei die zweite Energiespeichervorrichtung (20) Lithium-Sekundärelemente oder ein Nickel-Sekundärelement aufweist, wobei während der ersten Ladestufe auch die zweite Energiespeichervorrichtung (20) parallel geladen wird.
- 30 23. Ladeverfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Strom zum Laden der zweiten Energiespeichervorrichtung (20) im Verhältnis zum ersten Strom zum Laden der ersten Energiespeichervorrichtung (10) so gewählt wird, dass das Verhältnis der noch verbleibenden Restladekapazität der zweiten

Energiespeichervorrichtung (20) im Verhältnis zur noch verbleibenden Restladekapazität der ersten Energiespeichervorrichtung (10) ist.

- 5 24. Ladeverfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ladeverfahren für die erste Energiespeichervorrichtung (10) eine dritte Ladestufe aufweist, wobei die dritte Ladestufe bei einem konstanten ersten Strom durchgeführt wird, wobei die elektrische Energie für die dritte Ladestufe durch die zweite Energiespeichervorrichtung (20) bereit gestellt wird.

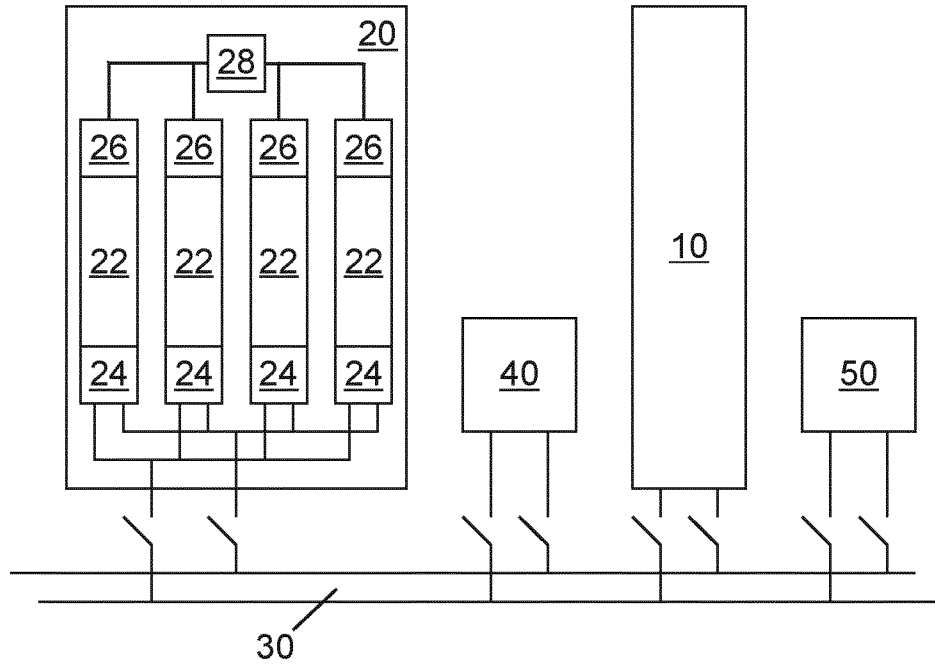


Fig. 1

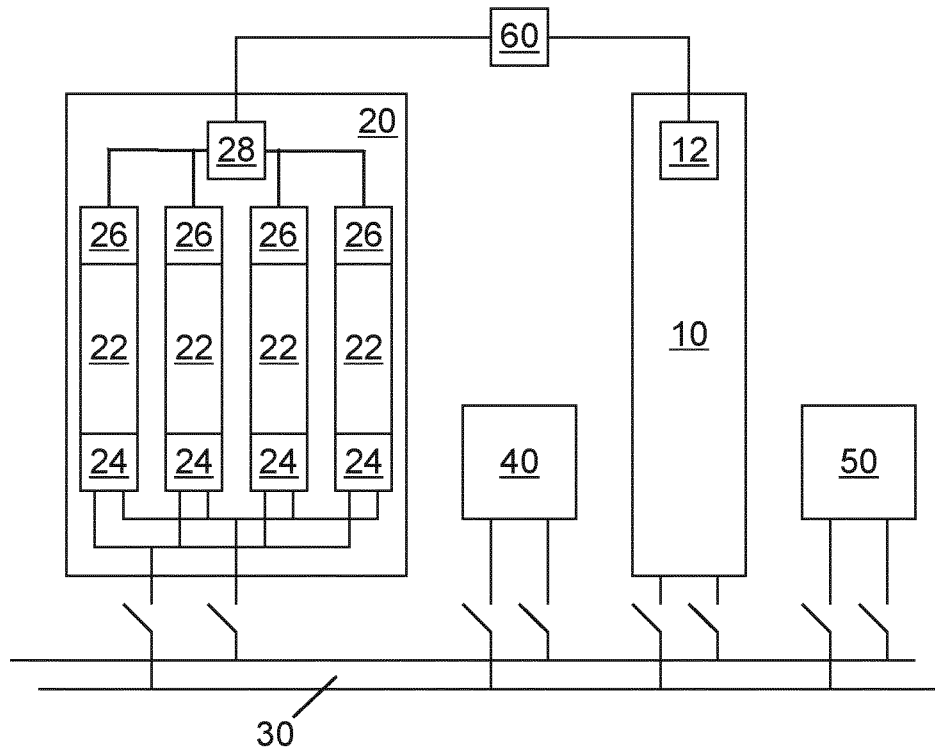


Fig. 2

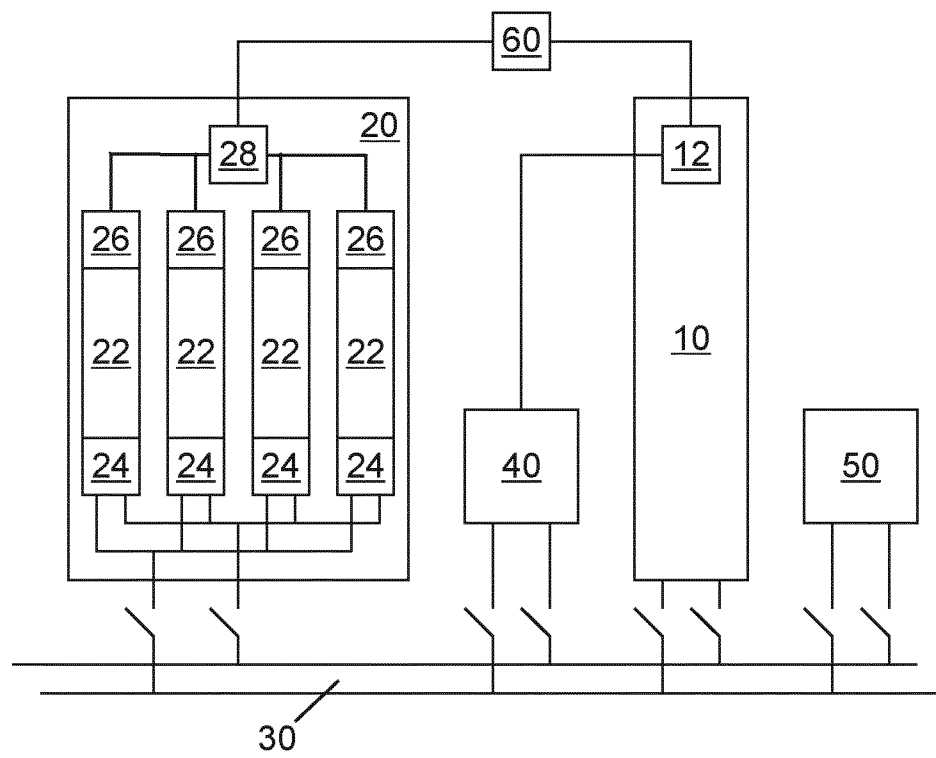


Fig. 3

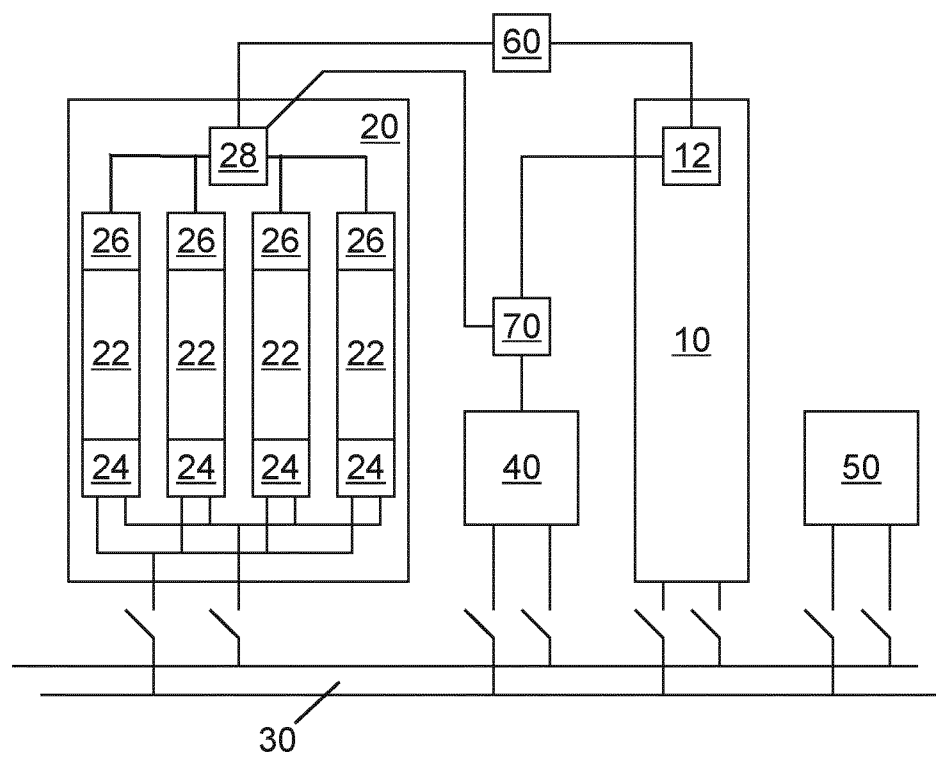


Fig. 4

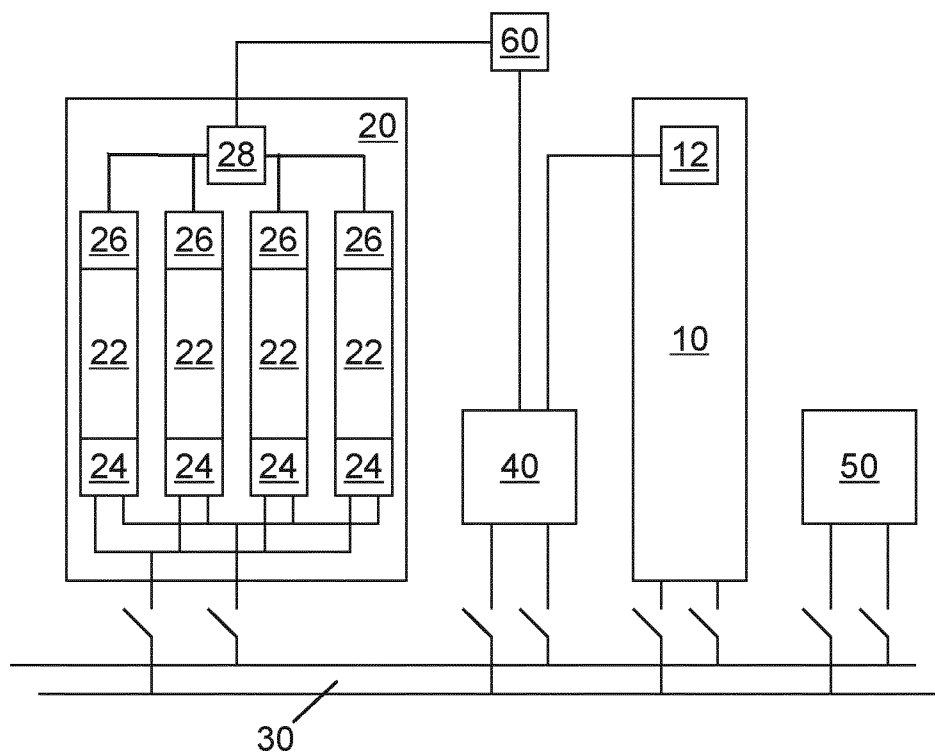


Fig. 5

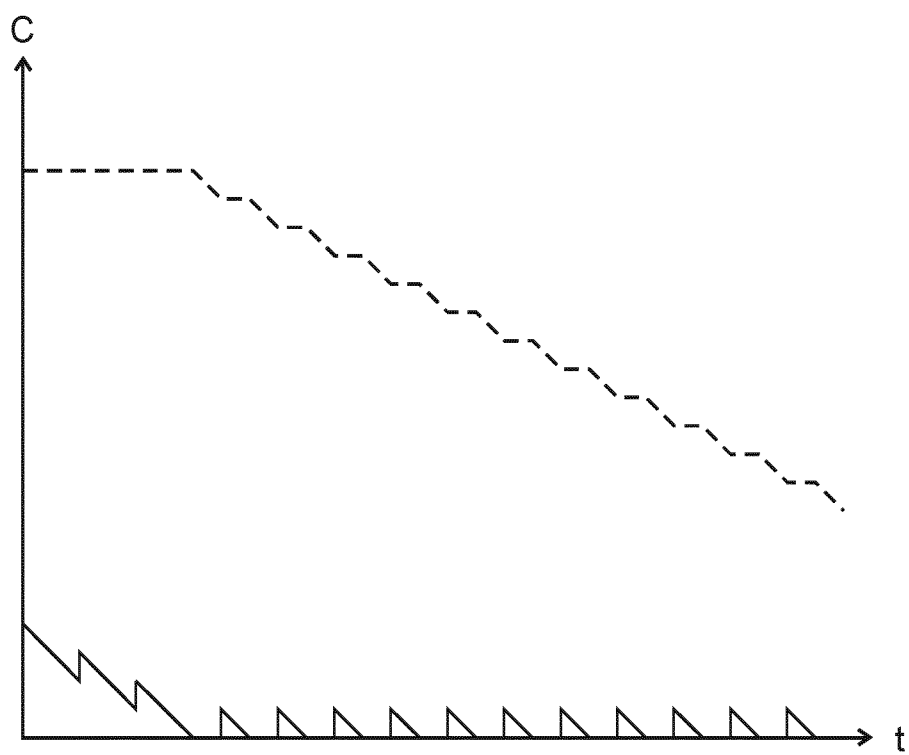


Fig. 6

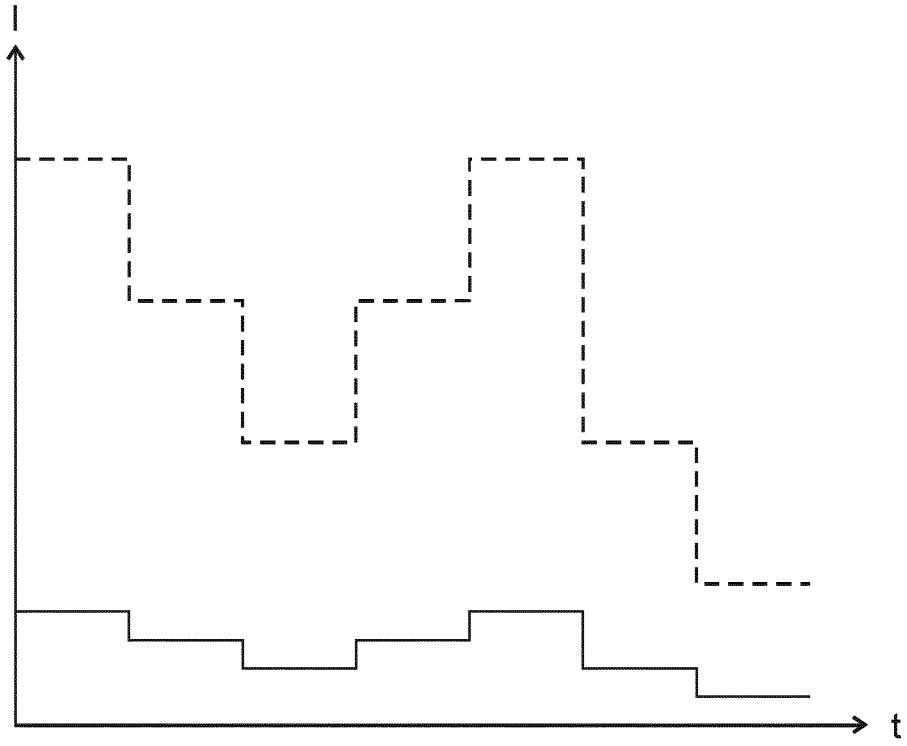


Fig. 7

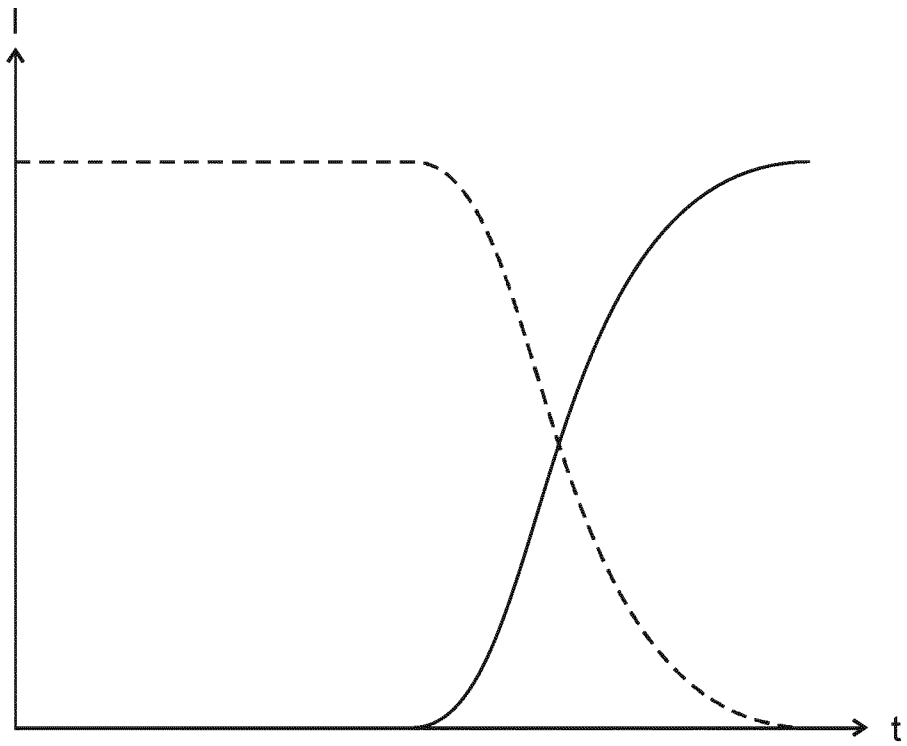


Fig. 8

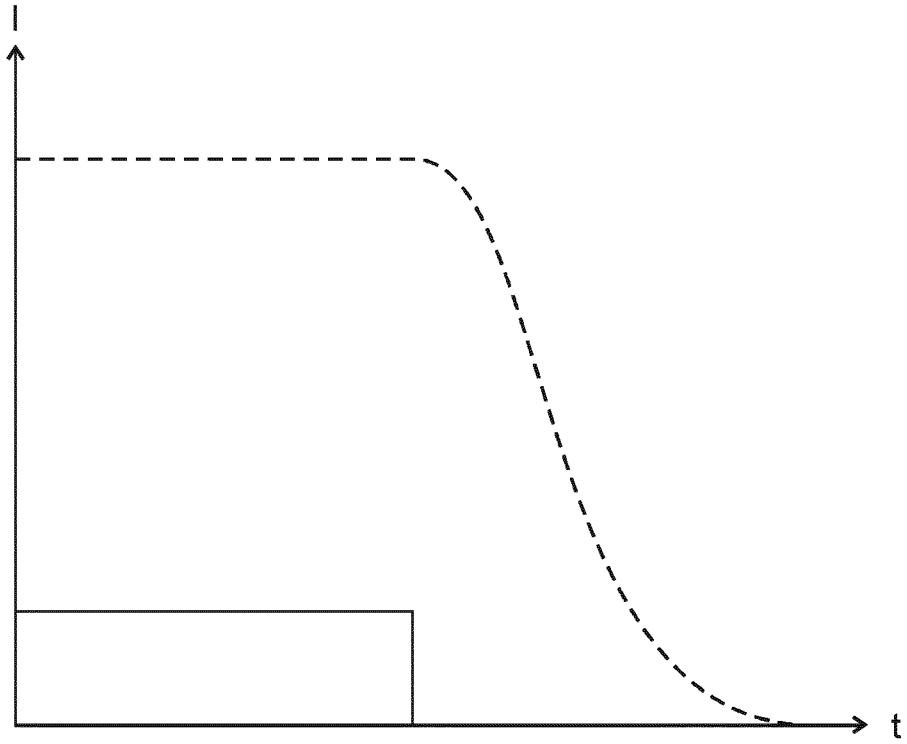


Fig. 9