

(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
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/109093 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 31/396 (2019.01) H02J 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/081838

(22) Internationales Anmeldedatum:

19. November 2019 (19.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 009 391.4

29. November 2018 (29.11.2018) DE

(71) Anmelder: DAIMLER AG [DE/DE]; Mercedesstraße
120, 70372 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: BOEHME, Urs; Schlehenweg 30, 71139 Ehningen (DE). CANDIR, Akin; Schillerstrasse 48/1, 70794 Filderstadt (DE). HASPEL, André; Pfaffengasse 3, 71069 Sindelfingen (DE).

(74) Anwalt: WELLER, Juergen; Daimler Brand & IP Management GmbH & Co., KG 063- H512, 70546 Stuttgart (DE).

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

(54) Title: CIRCUIT ASSEMBLY FOR A BATTERY

(54) Bezeichnung: SCHALTUNGSANORDNUNG FÜR EINE BATTERIE

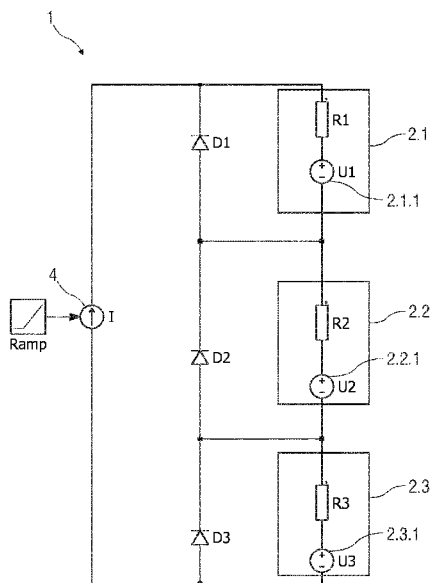


FIG 1

(57) Abstract: The invention relates to a circuit assembly for an electric battery (1), comprising a plurality of individual cells (2.1, 2.2, 2.3) or modules electrically connected in series. A bypass diode (D1, D2, D3) is connected in parallel with each of the cells (2.1, 2.2, 2.3) or each of the modules in such a way that an anode of the bypass diode (D1, D2, D3) is connected to a negative pole of one of the cells (2.1, 2.2, 2.3) or of one of the modules and a cathode of the same bypass diode (D1, D2, D3) is connected to a positive pole of the same cell (2.1, 2.2, 2.3) or of the same module. Alternatively, a semiconductor switch (F1, F2, F3) is connected in parallel with each of the cells (2.1, 2.2, 2.3) or each of the modules, each of the cells (2.1, 2.2, 2.3) or each of the modules having a voltage-measuring unit (5) for measuring a cell voltage (U1, U2, U3) or module voltage, a current-measuring unit (6) being provided for measuring a current (I) through the battery (1), at least one control unit (7) being provided, which is connected to the voltage-measuring unit (5) of one of the cells (2.1, 2.2, 2.3) and to the current-measuring unit (6) and is designed in such a way that said control unit opens the semiconductor switch (F1, F2, F3) of the same cell (2.1, 2.2, 2.3) if a current (I) which, or the absolute value of which, is greater than or equal to a specifiable current threshold value (I_{TH}) flows or if the cell voltage (U1, U2, U3) in question falls below or reaches a specifiable voltage threshold value (U_{TH}) as the current (I) flows.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie (1), umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen (2.1, 2.2, 2.3) oder Module. Jeder der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedem der Module ist eine Bypass-Diode (D1, D2, D3) parallel geschaltet, derart, dass eine Anode der Bypass-Diode (D1, D2, D3) mit einem Minuspol einer der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder eines der Module und eine Katode derselben Bypass-Diode (D1, D2, D3) mit einem Pluspol derselben Zelle (2.1, 2.2, 2.3) oder desselben Moduls verbunden ist. Alternativ ist jeder der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedem

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

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

der Module ein Halbleiterschalter (F1, F2, F3) parallel geschaltet, wobei jede der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedes der Module eine Spannungsmesseinheit (5) zur Messung einer Zellspannung (U₁, U₂, U₃) oder Modulspannung aufweist, wobei eine Strommeseinheit (6) zur Messung eines Stromes (I) durch die Batterie (1) vorgesehen ist, wobei mindestens eine Steuereinheit (7) vorgesehen ist, die mit der Spannungsmesseinheit (5) einer der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) und mit der Strommeseinheit (6) verbunden und so ausgebildet ist, dass sie den Halbleiterschalter (F1, F2, F3) derselben Zelle (2.1, 2.2, 2.3) öffnet, wenn ein Strom (I) fließt, der oder dessen Absolutwert größer als ein oder gleich einem vorgebbaren Stromschwellwert (I_{TH}) ist und wenn die jeweilige Zellspannung (U₁, U₂, U₃) beim Fließen des Stroms (I) unter einen vorgebbaren Spannungsschwellwert (U_{TH}) abfällt oder diesen erreicht.

Schaltungsanordnung für eine Batterie

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie, umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen oder Module.

Bei Ausfall oder Defekt einer Batteriezelle oder eines Batteriemoduls wird durch erhöhten Innenwiderstand der defekten Batteriezelle die abrufbare Leistung der gesamten Batterie erheblich reduziert. Findet in diesem Zustand keine Abschaltung statt, besteht die Gefahr einer lokal starken Überhitzung innerhalb der Batterie, die ein Sicherheitsproblem darstellen kann.

Bekannt sind Batterien, die aus mehreren kompletten Teilsträngen inklusive Schützen bestehen. Ein Teilstrang mit einer defekten Zelle oder einem defekten Modul kann über das Schütz stromfrei geschaltet werden. Dabei sind mehrere Teilstränge inklusive Schütz erforderlich. Die abrufbare Leistung sinkt stark ab.

Aus der DE 10 2015 016 980 A1 ist eine Batterie für ein Bordnetz eines Kraftfahrzeugs bekannt, mit

- zumindest zwei Batteriesträngen, welche jeweils zumindest eine Batteriezelle und ein dazu seriell geschaltetes Schaltelement aufweisen und welche mittels des jeweiligen Schaltelementes parallel zueinander an einen ersten Batterieanschluss der Batterie schaltbar sind,
- einem zweiten Batterieanschluss zum Anschließen der Batterie an das Bordnetz, wobei der zweite Batterieanschluss über eine Hauptschalteneinrichtung der Batterie mit dem ersten Batterieanschluss elektrisch koppelbar ist; und
- einer Vorladevorrichtung, welche in einem ersten Betriebsmodus der Batterie zum Vorladen eines Zwischenkreises des Bordnetzes ausgelegt ist, wobei die Vorladevorrichtung in einem zweiten Betriebsmodus der Batterie zum aneinander

Angleichen von Batteriespannungen eines ersten Batteriestranges und zumindest eines zweiten Batteriestranges ausgelegt ist.

Aus der DE 10 2012 212 374 A1 ist ein Batteriesystem bekannt, welches einen Batteriestrang umfasst, der eine Vielzahl dem Batteriestrang in Reihe geschaltete Batteriezellen sowie eine Vielzahl an Sicherungen aufweist, die zu den Batteriezellen in Reihe geschaltet sind. Das Batteriesystem weist zudem zwei Anschlüsse auf, die jeweils mit einem Ende des Batteriestrangs verbunden sind. Über zwei Schaltmittel ist ein elektrischer Pfad parallel zu einem Abschnitt des Batteriestranges schaltbar, wobei der Abschnitt mindestens eine Batteriezelle sowie mindestens eine Sicherung beinhaltet.

Aus der DE 10 2016 015 298 A1 ist eine Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie bekannt, umfassend einen aus einer Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen gebildeten Zellverbund mit zwei Polanschlusspunkten, mit zwei elektrischen Überbrückungsleitungen, wobei zwischen jeder Überbrückungsleitung und jedem Polanschlusspunkt jeweils eine schaltbare Koppelvorrichtung angeordnet ist. Zwischen jeder Überbrückungsleitung und jeder elektrischen Verbindung zwischen den Einzelzellen ist jeweils eine weitere schaltbare Koppelvorrichtung angeordnet. Weiterhin ist eine Verwendung einer solchen Schaltungsanordnung zur Erfassung elektrischer Parameter einer einzelnen Einzelzelle oder mehrerer Einzelzellen des Zellverbunds offenbart.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine verbesserte Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie anzugeben.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Schaltungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 2.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist in einer Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie, umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen oder Module, jeder der Zellen oder jedem der Module eine Bypass-Diode parallel geschaltet, derart, dass eine Anode der Bypass-Diode mit einem Minuspol einer der Zellen oder eines der Module und eine Katode derselben Bypass-Diode mit einem Pluspol derselben Zelle oder desselben Moduls verbunden ist.

Wenn alle Zellen oder Module eine annähernd gleiche Zellspannung und einen annähernd gleichen Innenwiderstand aufweisen, so fließt ein Strom in Entladerichtung ausschließlich über die Zellen oder Module und nicht über die Bypass-Dioden. Sobald jedoch eine der Zellen oder eines der Module infolge eines Defekts oder Alterung eine geringere Zellspannung oder einen höheren Innenwiderstand aufweist, wird bei dieser Zelle oder diesem Modul der Strom aufgeteilt und es fließt ein Bypass-Strom über die jeweilige Bypass-Diode und ein Zellstrom über die Zelle oder das Modul. Ist der Strom gering, so kann er weiterhin vollständig als Zellstrom über die defekte Zelle oder das defekte Modul fließen. Erst wenn der Spannungsabfall am jeweiligen Innenwiderstand infolge des fließenden Stromes so groß wird, dass die jeweilige Bypass-Diode öffnet, übernimmt die jeweilige Bypass-Diode den zusätzlichen Anteil des Stroms als Bypass-Strom. Ab diesem Punkt bleibt der Anteil des Zellstroms nahezu konstant. Der maximale Zellstrom wird somit begrenzt. Das gleiche gilt auch für die in der defekten Zelle entstehende Abwärme. Hinzu kommt die Abwärme, die an der Bypass-Diode entsteht. In Summe entsteht an der defekten Zelle und der zugehörigen Bypass-Diode weniger Abwärme, als an der defekten Zelle ohne Bypass-Pfad entstehen würde.

Folgende Vorteile ergeben sich bei Verwendung von Bypass-Dioden:

- Die Bypass-Dioden sind nicht in Reihe mit den einzelnen Zellen oder Modulen geschaltet. Sie beeinflussen somit bei intakter Batterie nicht den Wirkungsgrad beim Entladen der Batterie (Fahrbetrieb) und haben auch keinen Abwärmeeintrag in die Batterie. Die Dioden werden erst aktiv, sobald eine Zelle oder ein Modul stark gealtert oder defekt ist.
- Die Bypass-Dioden sind nur auf die Spannung der jeweils parallel geschalteten Zellen oder Module auszulegen.
- Durch die Parallelschaltung der Dioden ist bei gealterten oder defekten Zellen oder Modulen eine Reduzierung der Abwärmeleistung erreichbar. Die benachbarten Zellen oder Module werden vor Überhitzung und beschleunigter Alterung geschützt. Ein Brand der defekten Zelle oder des defekten Moduls kann so vermieden werden.
- Die Schaltung mit Bypass-Dioden ist passiv und daher ohne Auswerteelektronik umsetzbar.

Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist in einer Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie, umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen oder Module, jeder der Zellen oder jedem der Module ein Halbleiterschalter parallel geschaltet, wobei jede der Zellen oder jedes der Module eine

Spannungsmesseinheit zur Messung einer Zellspannung oder Modulspannung aufweist, wobei eine Strommeseinheit zur Messung eines Stromes durch die Batterie vorgesehen ist, wobei mindestens eine Steuereinheit vorgesehen ist, die mit der Spannungsmesseinheit einer der Zellen und mit der Strommeseinheit verbunden und so ausgebildet ist, dass sie den Halbleiterschalter derselben Zelle öffnet, wenn ein Strom fließt, der oder dessen Absolutwert größer als ein oder gleich einem vorgebbaren Stromschwellwert ist und wenn die jeweilige Zellspannung beim Fließen des Stroms unter einen vorgebbaren Spannungsschwellwert abfällt oder diesen erreicht.

Wenn alle Zellen eine annähernd gleiche Zellspannung und einen annähernd gleichen Innenwiderstand aufweisen, so fließt der Strom in Entladerichtung ausschließlich über die Zellen und nicht über die Halbleiterschalter.

Das Prinzip der Schaltung aus ist ähnlich dem oben beschriebenen Prinzip mit Bypass-Dioden. Die Bypass-Diode verfügt allerdings über eine feste Schwellspannung (z.B. -0,7V als Klemmenspannung der defekten Zelle). Werden die Bypass-Dioden durch Halbleiterschalter, insbesondere MOSFETs, ersetzt, so ist über eine Ansteuerung der Halbleiterschalter eine beliebige Schaltschwelle einstellbar. Dabei sind Schaltschwellen realisierbar, die deutlich kleiner sind als die Schwellspannung der Bypass-Dioden, wodurch der Maximalstrom einer defekten Zelle auf einen geringeren Wert begrenzt werden kann. Dies ist vor allem beim Einsatz zum Brücken von Batteriemodulen mit einer defekten Zelle von Vorteil. Dadurch, dass der Halbleiterschalter keine intrinsische Schwellwertspannung besitzt, sind die Abwärmeverluste im Halbleiterschalter und auch im Innenwiderstand geringer, da Kommutierung bei einem geringeren Stromwert einsetzt.

In einer Ausführungsform der Erfindung sind die Halbleiterschalter jeweils als ein MOSFET ausgebildet.

Folgende Vorteile ergeben sich bei Verwendung von Bypass-Halbleiterschalter (beispielsweise MOSFETs):

- Alle Vorteile der Schaltung mit Bypass-Dioden werden erfüllt.
- Eine Auslöseschwelle der Halbleiterschalter kann im Gegensatz zum Konzept mit den Bypass-Dioden frei gewählt werden.
- Im Vergleich zu den Bypass-Dioden kann die entstehende Abwärmeleistung in den Halbleiterschaltern und vor allem auch in der defekten Zelle nochmals erheblich reduziert werden.

- Die Ansteuerschaltung der Bypass- Halbleiterschalter benötigt keine zusätzlichen Messeinrichtungen in der Batterie. Eine Gesamtstrommessung und die Spannungsmessung der Einzelzellen oder Modulen sind häufig ohnehin vorgesehen.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist der MOSFET ein n-Kanal-MOSFET, dessen Source mit einem Minuspol einer der Zellen und dessen Drain mit einem Pluspol derselben Zelle verbunden ist. In alternativen Ausführungsformen können auch andere MOSFETs, beispielsweise p-Kanal-MOSFETs oder IGBT vorgesehen sein.

In einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die Steuereinheit einen ersten Komparator zum Vergleichen des Stroms mit dem vorgebbaren Stromschwellwert.

In einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die Steuereinheit einen zweiten Komparator zum Vergleichen der Zellspannung mit dem vorgebbaren Spannungsschwellwert.

In einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die Steuereinheit ein UND-Glied, das Ausgänge der Komparatoren logisch verknüpft und mit einem Steuereingang des Halbleiterschalters verbunden ist.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Schaltbild einer Batterie mit einer Anzahl von in Reihe geschalteten Zellen und diesen parallel geschalteten Bypass-Dioden,
- Fig. 2 einen Verlauf von Strömen und Spannungen an der in Figur 1 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an einer der Zellen,
- Fig. 3 einen Verlauf von Leistungen an den Innenwiderständen der Zellen der in Figur 1 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an einer der Zellen,
- Fig. 4 ein schematisches Schaltbild einer Batterie mit einer Anzahl von in Reihe geschalteten Zellen und diesen parallel geschalteten Halbleiterschaltern,

Fig. 5 einen Verlauf von Strömen und Spannungen an der in Figur 4 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an einer der Zellen, und

Fig. 6 einen Verlauf von Leistungen an Innenwiderständen der Zellen der in Figur 4 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an einer der Zellen.

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

In den folgenden Ausführungsbeispielen werden elektrische Batterien betrachtet, die aus einzelnen Zellen aufgebaut sind. Die Zellen in jedem der Ausführungsbeispiele können durch Module ersetzt werden. Bei einem Modul handelt es sich um eine Reihenschaltung mehrerer Zellen.

Figur 1 zeigt ein schematisches Schaltbild einer Batterie 1 mit einer Anzahl von in Reihe geschalteten Zellen 2.1, 2.2, 2.3. Jede der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 wird durch eine ideale Spannungsquelle 2.1.1, 2.2.1, 2.3.1 mit einer Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 und einen dazu in Reihe geschalteten Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 repräsentiert. Jeder der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 ist eine Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 parallel geschaltet, derart, dass eine Anode der Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 mit einem Minuspol einer der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und eine Katode derselben Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 mit einem Pluspol derselben Zelle 2.1, 2.2, 2.3 verbunden ist.

An die Batterie 1 ist ein elektrischer Verbraucher 4 angeschlossen, durch den ein Strom I fließt. Der elektrische Verbraucher 4 ist als Stromquelle dargestellt.

Wenn alle Zellen 2.1, 2.2, 2.3 eine annähernd gleiche Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 und einen annähernd gleichen Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 aufweisen, so fließt der Strom I in Entladerichtung der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 ausschließlich über die Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und nicht über die Bypass-Dioden D_1 , D_2 , D_3 . Sobald jedoch eine der Zellen 2.1, 2.2, 2.3, beispielsweise die Zelle 2.2, infolge eines Defekts oder Alterung eine geringere Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 oder einen höheren Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 aufweist, wird bei dieser Zelle 2.1, 2.2, 2.3 der Strom I aufgeteilt und es fließt ein Bypass-Strom I_B über die jeweilige Bypass-Dioden D_1 , D_2 , D_3 und ein Zellstrom I_Z über die Zelle 2.1, 2.2, 2.3. Ist der Strom I gering so kann er weiterhin vollständig als Zellstrom I_Z über die defekte Zelle 2.1, 2.2, 2.3 fließen. Erst wenn der Spannungsabfall am jeweiligen

Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 infolge des fließenden Stromes I so groß wird, dass die jeweilige Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 öffnet, übernimmt die jeweilige Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 den zusätzlichen Anteil des Stroms I als Bypass-Strom I_B . Ab diesem Punkt bleibt der Anteil des Zellstroms I_Z nahezu konstant.

Der maximale Zellstrom I_Z wird somit begrenzt. Das gleiche gilt auch für die in der defekten Zelle 2.1, 2.2, 2.3 entstehende Abwärme. Hinzu kommt die Abwärme, die an der Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 entsteht. In Summe entsteht an der defekten Zelle 2.1, 2.2, 2.3 und der Bypass-Diode D_1 , D_2 , D_3 weniger Abwärme, als an der defekten Zelle 2.1, 2.2, 2.3 ohne Bypass-Pfad entstehen würde.

In Figur 2 ist ein Verlauf von Strömen und Spannungen an der in Figur 1 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an der Zelle 2.2 gezeigt. Dargestellt sind von oben nach unten eine Spannung U_{R1} über dem Innenwiderstand R_1 , ein Zellstrom I_{Z1} durch die Zelle 2.1, eine Spannung U_{D1} über der Bypass-Diode D_1 , ein Bypass-Strom I_{B1} durch die Bypass-Diode D_1 , eine Spannung U_{R2} über dem Innenwiderstand R_2 , ein Zellstrom I_{Z2} durch die Zelle 2.2, eine Spannung U_{D2} über der Bypass-Diode D_2 , ein Bypass-Strom I_{B2} durch die Bypass-Diode D_2 , eine Spannung U_{R3} über dem Innenwiderstand R_3 , ein Zellstrom I_{Z3} durch die Zelle 2.3, eine Spannung U_{D3} über der Bypass-Diode D_3 , ein Bypass-Strom I_{B3} durch die Bypass-Diode D_3 und der Strom I . Die Zelle 2.2 weist einen höheren Innenwiderstand R_2 und eine niedrigere Zellspannung U_2 auf als die anderen Zellen 2.1, 2.3. Betrachtet wird nur der Entladefall, das heißt der Strom I steigt im Lauf der Simulationszeit von 0A auf -100A an.

In einem ersten Zeitraum von 0 bis etwa 0,4s fließt der Strom I durch alle Zellen 2.1, 2.2, 2.3. Über die Bypass-Dioden D_1 , D_2 , D_3 fließt kein Strom. Infolge des erhöhten Innenwiderstands R_2 wächst der Spannungsabfall über dem Innenwiderstand R_2 stärker an und ist der Zellspannung U_2 entgegen gerichtet.

Nach etwa 0,4s entspricht der Spannungsabfall über dem Innenwiderstand R_2 der Summe der Zellspannung U_2 , beispielsweise 3V, und einer Schwellwertspannung der Bypass-Diode D_2 , beispielsweise 1V. Ab diesem Zeitpunkt bleibt der Zellstrom I_{Z2} durch die Zelle 2.2 auf einem nahezu konstanten Wert. Der Differenzanteil zum weiterhin ansteigenden Strom I durch den Verbraucher wird nun von der Bypass-Diode D_2 übernommen.

Dadurch, dass bei der Bypass-Diode D2 ebenfalls ein Übergangswiderstand angenommen wurde, erhöht sich der Spannungsabfall an der Bypass-Diode D2 mit steigendem Bypass-Strom I_B . Dadurch nimmt auch der Zellstrom I_Z durch die defekte Zelle 2.2 geringfügig zu.

Im in Figur 2 dargestellten Beispiel wurden folgende Simulationsparameter verwendet:

$R1 = R3 = 0,01 \text{ Ohm}$

$R2 = 10 \cdot R1$

$U1 = U3 = 4,0 \text{ V}$

$U2 = 3,0 \text{ V}$

Spannungsabfall $U_d = 1 \text{ V}$ über der Bypass-Diode D2

Widerstandswert $R_d = 0.005 \text{ Ohm}$ der Bypass Diode D2

Strom I durch den Verbraucher 4 (Stromquelle): von 0 A bis -100 A in 1 sek.

In Figur 3 ist ein Verlauf von Leistungen an den an den Innenwiderständen $R1$, $R2$, $R3$ der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und an der Bypass-Diode D2 der in Figur 1 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an der Zelle 2.2 gezeigt. Von oben nach unten sind dargestellt eine Leistung P_{R1} am Innenwiderstand $R1$, eine Leistung P_{R2} am Innenwiderstand $R2$, eine Leistung P_{D2} an der Bypass-Diode D2, eine summierte Leistung P_{D2_R2} an der Bypass-Diode D2 und am Innenwiderstand $R2$, eine Leistung P_{R3} am Innenwiderstand $R3$. Diese Leistungen entsprechen auch der abzuführenden Wärmeleistung für ein Kühlsystem, um ein Überhitzen oder einen Brand zu vermeiden.

In einem ersten Zeitraum von 0 bis etwa $0,4 \text{ s}$ steigen die Leistungen P_{R1} , P_{R2} , P_{R3} an den Innenwiderständen $R1$, $R2$, $R3$ quadratisch proportional mit dem Strom I an. Die Leistung P_{R2} ist dabei wesentlich höher, weil hier auch ein wesentlich höherer Innenwiderstand $R2$ angenommen wurde.

Nach etwa $0,4 \text{ s}$ steigen die Leistungen P_{R1} , P_{R3} an $R1$ und $R3$ weiterhin quadratisch proportional an. Die Leistung P_{R2} an $R2$ ist (nahezu) konstant, weil der Differenzstrom von nun an durch die Bypass-Diode D2 übernommen wird.

Die Leistung P_{D2} an der Bypass-Diode D2 wächst nun (nahezu) proportional zum Bypass-Strom I_{B2} . Die in Summe umgesetzte Leistung P_{D2_R2} an D2 und $R2$ beträgt bei -100 A ca. 256 W . Ohne D2 entspräche die Abwärme an $R2$ allerdings: $100 \text{ A} \cdot 100 \text{ A} \cdot 0.1 \text{ Ohm} = 1000 \text{ W}$. Die Bypass-Diode D2 stellt also eine geeignete

Schutzmaßnahme gegen eine lokale Überhitzung aufgrund von gealterten oder defekten Zellen dar.

Die Leistung P_{R2} ist nicht völlig konstant und der Anstieg der Leistung P_{D2} an der Bypass-Diode D2 nicht völlig proportional zum Bypass-Strom I_{B2} wegen des Einflusses des Übergangswiderstands der Bypass-Diode D2. Je geringer dieser Übergangswiderstand ist, desto konstanter ist die freiwerdende Leistung P_{R2} an R2 mit steigendem Strom I.

Figur 4 zeigt ein schematisches Schaltbild einer Batterie 1 mit einer Anzahl von in Reihe geschalteten Zellen 2.1, 2.2, 2.3. Jede der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 wird durch eine ideale Spannungsquelle 2.1.1, 2.2.1, 2.3.1 mit einer Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 und einen dazu in Reihe geschalteten Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 repräsentiert. Jeder der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 ist eine Halbleiterschalter F_1 , F_2 , F_3 , insbesondere ein MOSFET, parallel geschaltet, insbesondere derart, dass bei einem n-Kanal MOSFET Source mit einem Minuspol einer der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und Drain desselben MOSFET mit einem Pluspol derselben Zelle 2.1, 2.2, 2.3 verbunden ist. Jede der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 weist eine Spannungsmesseinheit 5 zur Messung der Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 auf. Dargestellt ist hier nur die Spannungsmesseinheit 5 zur Messung der Zellspannung U_2 der Zelle 2.2.

An die Batterie 1 ist ein elektrischer Verbraucher 4 angeschlossen, durch den ein Strom I fließt. Der elektrische Verbraucher 4 ist als Stromquelle dargestellt. Weiter ist eine Strommeseinheit 6 zur Messung des Stromes I vorgesehen.

Wenn alle Zellen 2.1, 2.2, 2.3 eine annähernd gleiche Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 und einen annähernd gleichen Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 aufweisen, so fließt der Strom I in Entladerichtung der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 ausschließlich über die Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und nicht über die Halbleiterschalter F_1 , F_2 , F_3 . Es soll der Fall betrachtet werden, dass eine der Zellen 2.1, 2.2, 2.3, beispielsweise die Zelle 2.2, infolge eines Defekts oder Alterung eine geringere Zellspannung U_1 , U_2 , U_3 oder einen höheren Innenwiderstand R_1 , R_2 , R_3 aufweist.

Das Prinzip der Schaltung aus Figur 4 ist ähnlich dem Prinzip aus Figur 1 mit Bypass-Dioden D1, D2, D3. Die Bypass-Diode D1, D2, D3 verfügt allerdings über eine feste Schwellspannung (z.B. -0,7V als Klemmenspannung der defekten Zelle). Werden die Bypass-Dioden D1, D2, D3 durch Halbleiterschalter F_1 , F_2 , F_3 , insbesondere MOSFETs, ersetzt, so ist über eine Ansteuerung der Halbleiterschalter F_1 , F_2 , F_3 eine beliebige Schaltschwelle einstellbar. Dabei sind Schaltschwellen realisierbar, die deutlich kleiner

sind als die Schwellspannung der Bypass-Dioden D1, D2, D3, wodurch der Maximalstrom der defekten Zelle 2.2 auf einen geringeren Wert begrenzt werden kann. Dies ist vor allem beim Einsatz zum Brücken von Batteriemodulen mit einer defekten Zelle von Vorteil.

Die Ansteuerung des der defekten Zelle 2.2 zugeordneten Halbleiterschalters F2 erfolgt über eine Steuereinheit 7, die mit der in der Batterie 1 vorhandenen Spannungsmesseinheit 5 und mit der Strommeseinheit 6 zur Messung des durch die Batterie 1 fließenden Stroms I verbunden ist. Dadurch, dass der Halbleiterschalter F2, insbesondere MOSFET, keine intrinsische Schwellwertspannung besitzt, sind die Abwärmeverluste im Halbleiterschalter F2 und auch im Innenwiderstand R2 geringer, da Kommutierung bei einem geringeren Stromwert einsetzt.

In einer Ausführungsform umfasst die Steuereinheit 7 einen ersten Komparator 7.1 zum Vergleichen des Stroms I mit einem einstellbaren Stromschwellwert I_{TH} , der beispielsweise 0 sein kann. Die Steuereinheit 7 umfasst weiter einen zweiten Komparator 7.2 zum Vergleichen der Zellspannung U_2 mit einem einstellbaren Spannungsschwellwert U_{TH} , der beispielsweise 0,1 V sein kann. Die Ausgänge der Komparatoren 7.1, 7.2 sind über ein UND-Glied 7.3 logisch verknüpft und der Ausgang des UND-Gliedes 7.3 steuert den Halbleiterschalter F2 an. Der Ausgang des ersten Komparators 7.1 nimmt beispielsweise den logischen Wert 1 an, wenn der Strom I den Stromschwellwert I_{TH} erreicht und/oder überschreitet bzw. unterschreitet. Der Ausgang des zweiten Komparators 7.2 nimmt beispielsweise den logischen Wert 1 an, wenn die Zellspannung U_2 den Spannungsschwellwert U_{TH} erreicht und/oder unterschreitet. Der Halbleiterschalter F2 öffnet also, wenn ein Strom I fließt, der größer als der oder gleich dem Stromschwellwert I_{TH} ist und wenn die Zellspannung U_2 infolge des erhöhten Innenwiderstands R2 beim Fließen des Stroms I unter den Spannungsschwellwert U_{TH} abfällt oder diesen erreicht.

Ähnliche Schaltungen mit dem Vergleich von Modulspannungen und einer daraus abgeleiteten Auslöseschwelle sind ebenfalls denkbar.

Die übrigen Zellen 2.1, 2.3 der Batterie 1 können in gleicher Weise Spannungsmesseinheiten 5 und Steuereinheiten 7 aufweisen.

In Figur 5 ist ein Verlauf von Strömen und Spannungen an der in Figur 4 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an der Zelle 2.2 gezeigt. Dargestellt sind von oben nach unten eine Spannung U_{R1} über dem Innenwiderstand R1, ein Zellstrom I_{Z1}

durch die Zelle 2.1, eine Spannung U_{F1} über dem Halbleiterschalter F1, ein Bypass-Strom I durch den Halbleiterschalter F1, eine Spannung U_{R2} über dem Innenwiderstand R2, ein Zellstrom I_{Z2} durch die Zelle 2.2, eine Spannung U_{F2} über dem Halbleiterschalter F2, ein Bypass-Strom I_{B2} durch den Halbleiterschalter F2, eine Spannung U_{R3} über dem Innenwiderstand R3, ein Zellstrom I_{Z3} durch die Zelle 2.3, eine Spannung U_{F3} über dem Halbleiterschalter F3, ein Bypass-Strom I_{B3} durch den Halbleiterschalter F3 und der Strom I . Die Zelle 2.2 weist einen höheren Innenwiderstand R2 und eine niedrigere Zellspannung U_2 auf als die anderen Zellen 2.1, 2.3. Betrachtet wird nur der Entladefall, das heißt der Strom I steigt im Lauf der Simulationszeit von 0A auf -100A an.

In einem ersten Zeitraum von 0 bis etwa 0,3s fließt der Strom I durch alle Zellen 2.1, 2.2, 2.3. Über die Halbleiterschalter F1, F2, F3 fließt kein Strom. Infolge des erhöhten Innenwiderstands R2 wächst der Spannungsabfall über dem Innenwiderstand R2 stärker an und ist der Zellspannung U_2 entgegen gerichtet.

Nach etwa 0,3 s entspricht die Spannung über dem Innenwiderstand R2 der Summe der Zellspannung U_2 , beispielsweise 3V. Ab diesem Zeitpunkt werden die Einschaltbedingungen für den Halbleiterschalter F2 erfüllt: Der durch die Batterie 1 beim Entladen fließende Strom I ist kleiner/gleich 0 und die Zellspannung U_2 ist kleiner/gleich 0,1V. Durch das Einschalten des Halbleiterschalters F2 bleibt der Zellstrom I_{Z2} durch die mittlere Zelle 2.2 auf einem (nahezu) konstanten Wert. Der Differenzanteil zum weiterhin ansteigenden Strom I durch den Verbraucher 4 wird nun vom Halbleiterschalter F2 übernommen.

Da beim Halbleiterschalter F2 ebenfalls ein Übergangswiderstand angenommen wurde, ergibt sich eine geringe Stromzunahme in R2 mit steigendem Strom I , da sich der Spannungsabfall an F2 mit zunehmendem Strom I in F2 ebenfalls leicht erhöht.

Im in Figur 5 dargestellten Beispiel wurden folgende Simulationsparameter verwendet:

$R1 = R3 = 0,01 \text{ Ohm}$

$R2 = 10 \cdot R1$

$U1 = U3 = 4,0V$

$U2 = 3,0V$

Widerstandswert $R_d = 0,005 \text{ Ohm}$ des Halbleiterschalters F2

Strom I : von 0A bis -100A in 1sek

In Figur 6 ist ein Verlauf von Leistungen an den an den Innenwiderständen R_1 , R_2 , R_3 der Zellen 2.1, 2.2, 2.3 und am Halbleiterschalter F2 der in Figur 4 gezeigten Schaltung beim Entladen und bei einem Fehler an der Zelle 2.2 gezeigt. Von oben nach unten sind dargestellt eine Leistung P_{R1} am Innenwiderstand R_1 , eine Leistung P_{R2} am Innenwiderstand R_2 , eine Leistung P_{F2} am Halbleiterschalter F2, eine summierte Leistung P_{F2_R2} am Halbleiterschalter F2 und am Innenwiderstand R_2 , eine Leistung P_{R3} am Innenwiderstand R_3 . Diese Leistungen entsprechen auch der abzuführenden Wärmeleistung für ein Kühlsystem, um ein Überhitzen oder einen Brand zu vermeiden.

In einem ersten Zeitraum bis etwa 0,3 s steigen die Leistungen P_{R1} , P_{R2} , P_{R3} an den Widerständen R_1 , R_2 , R_3 quadratisch proportional an mit dem Strom I beim Entladen. Die Leistung P_{R2} ist dabei wesentlich höher, weil hier ein wesentlich höherer Innenwiderstand R_2 angenommen wurde.

In einem Zeitraum ab etwa 0,3 s steigen die Leistungen P_{R1} , P_{R3} an R_1 und R_3 weiterhin quadratisch proportional an. Die Leistung P_{R2} an R_2 ist (nahezu) konstant, weil der Differenzstrom von nun an durch F2 übernommen wird.

Die Leistung P_{F2} an F2 wächst nun (nahezu) proportional zum Strom I . Die in Summe umgesetzte Leistung P_{F2_R2} an F2 und R_2 beträgt bei -100A ca. 99W. Ohne F2 entspräche die Leistung P_{R2} und damit die Abwärme an R_2 allerdings: $100A \cdot 100A \cdot 0.1\Omega = 1000W$. Die Leistung P_{R1} , P_{R3} an R_1 und R_3 beträgt je 100W.

Der Halbleiterschalter F2 reduziert die Abwärmeleistung an der defekten Zelle 2.2 (bei hohem Strom I sogar stärker als an den intakten Zellen 2.1, 2.3). Die Abwärmeleistung ist zudem wesentlich geringer als bei Verwendung einer Diode.

Je geringer der Übergangswiderstand des Halbleiterschalters F2 ist, desto konstanter ist die freiwerdende Leistung P_{R2} an R_2 mit steigendem Strom I .

Bezugszeichenliste

1	Batterie
2.1, 2.2, 2.3	Zelle
2.1.1, 2.2.1, 2.3.1	Spannungsquelle
4	elektrischer Verbraucher
5	Spannungsmesseinheit
6	Strommeseinheit
7	Steuereinheit
7.1	erster Komparator
7.2	zweiter Komparator
7.3	UND-Glied
D1, D2, D3	Bypass-Diode
F1, F2, F3	Halbleiterschalter
I	Strom
$I_B, I_{B1}, I_{B2}, I_{B3}$	Bypass-Strom
I_{TH}	Stromschwellwert
$I_Z, I_{Z1}, I_{Z2}, I_{Z3}$	Zellstrom
P_{D2}, P_{F2}	Leistung
P_{F2_R2}, P_{D2_R2}	summierte Leistung
P_{R1}, P_{R2}, P_{R3}	Leistung
R1, R2, R3	Innenwiderstand
U1, U2, U3	Zellspannung
U_{D1}, U_{D2}, U_{D3}	Spannung
U_{F1}, U_{F2}, U_{F3}	Spannung
U_{R1}, U_{R2}, U_{R3}	Spannung
U_{TH}	Spannungsschwellwert

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie (1), umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen (2.1, 2.2, 2.3) oder Module, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedem der Module eine Bypass-Diode (D1, D2, D3) parallel geschaltet ist, derart, dass eine Anode der Bypass-Diode (D1, D2, D3) mit einem Minuspol einer der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder eines der Module und eine Katode derselben Bypass-Diode (D1, D2, D3) mit einem Pluspol derselben Zelle (2.1, 2.2, 2.3) oder desselben Moduls verbunden ist.
2. Schaltungsanordnung für eine elektrische Batterie (1), umfassend eine Mehrzahl elektrisch in Reihe geschalteter Einzelzellen (2.1, 2.2, 2.3) oder Module, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedem der Module ein Halbleiterschalter (F1, F2, F3) parallel geschaltet ist, wobei jede der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) oder jedes der Module eine Spannungsmesseinheit (5) zur Messung einer Zellspannung (U1, U2, U3) oder Modulspannung aufweist, wobei eine Strommeseinheit (6) zur Messung eines Stromes (I) durch die Batterie (1) vorgesehen ist, wobei mindestens eine Steuereinheit (7) vorgesehen ist, die mit der Spannungsmesseinheit (5) einer der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) und mit der Strommeseinheit (6) verbunden und so ausgebildet ist, dass sie den Halbleiterschalter (F1, F2, F3) derselben Zelle (2.1, 2.2, 2.3) öffnet, wenn ein Strom (I) fließt, der oder dessen Absolutwert größer als ein oder gleich einem vorgebbaren Stromschwellwert (I_{TH}) ist und wenn die jeweilige Zellspannung (U1, U2, U3) beim Fließen des Stroms (I) unter einen vorgebbaren Spannungsschwellwert (U_{TH}) abfällt oder diesen erreicht.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschalter (F1, F2, F3) jeweils als ein MOSFET ausgebildet sind.
4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der MOSFET ein n-Kanal-MOSFET ist, dessen Source mit einem Minuspol einer der Zellen (2.1, 2.2, 2.3) und dessen Drain mit einem Pluspol derselben Zelle (2.1, 2.2, 2.3) verbunden ist.
5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (7) einen ersten Komparator (7.1) zum Vergleichen des Stroms (I) mit dem vorgebbaren Stromschwellwert (I_{TH}) umfasst.
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (7) einen zweiten Komparator (7.2) zum Vergleichen der Zellspannung (U_1 , U_2 , U_3) mit dem vorgebbaren Spannungsschwellwert (U_{TH}) umfasst.
7. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (7) ein UND-Glied (7.3) umfasst, das Ausgänge der Komparatoren (7.1, 7.2) logisch verknüpft und mit einem Steuereingang des Halbleiterschalters (F1, F2, F3) verbunden ist.

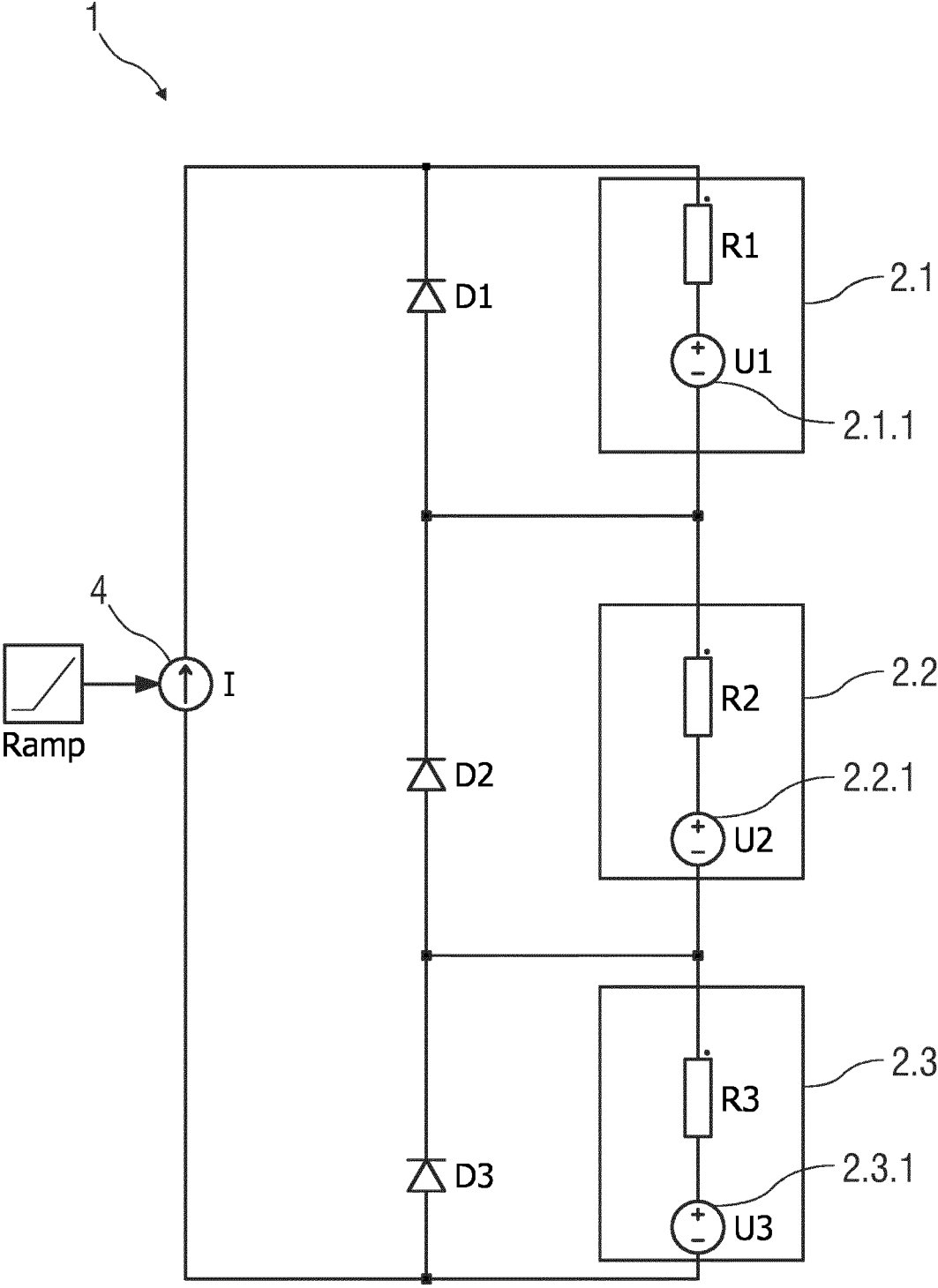


FIG 1

2/6

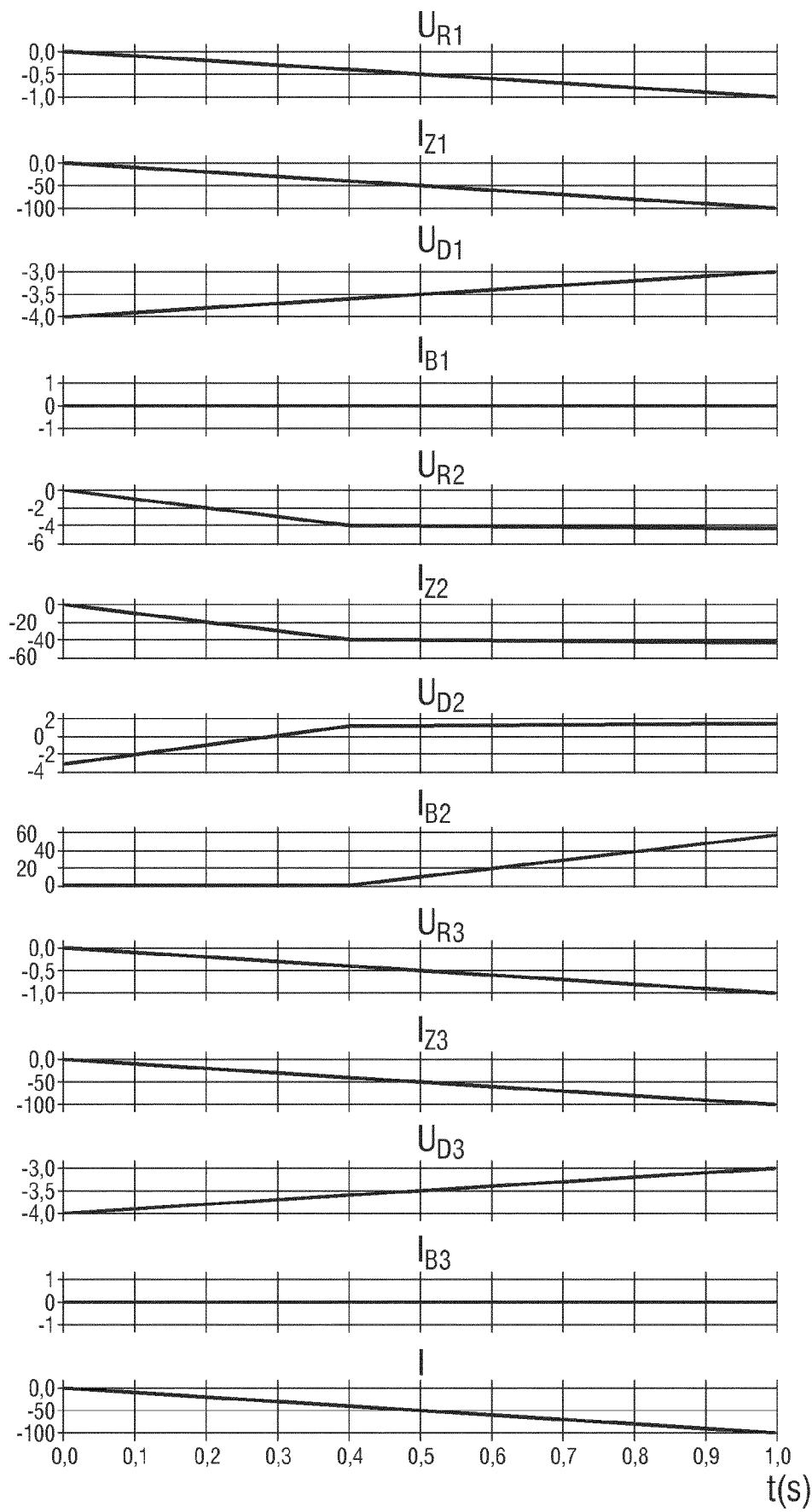


FIG 2

3/6

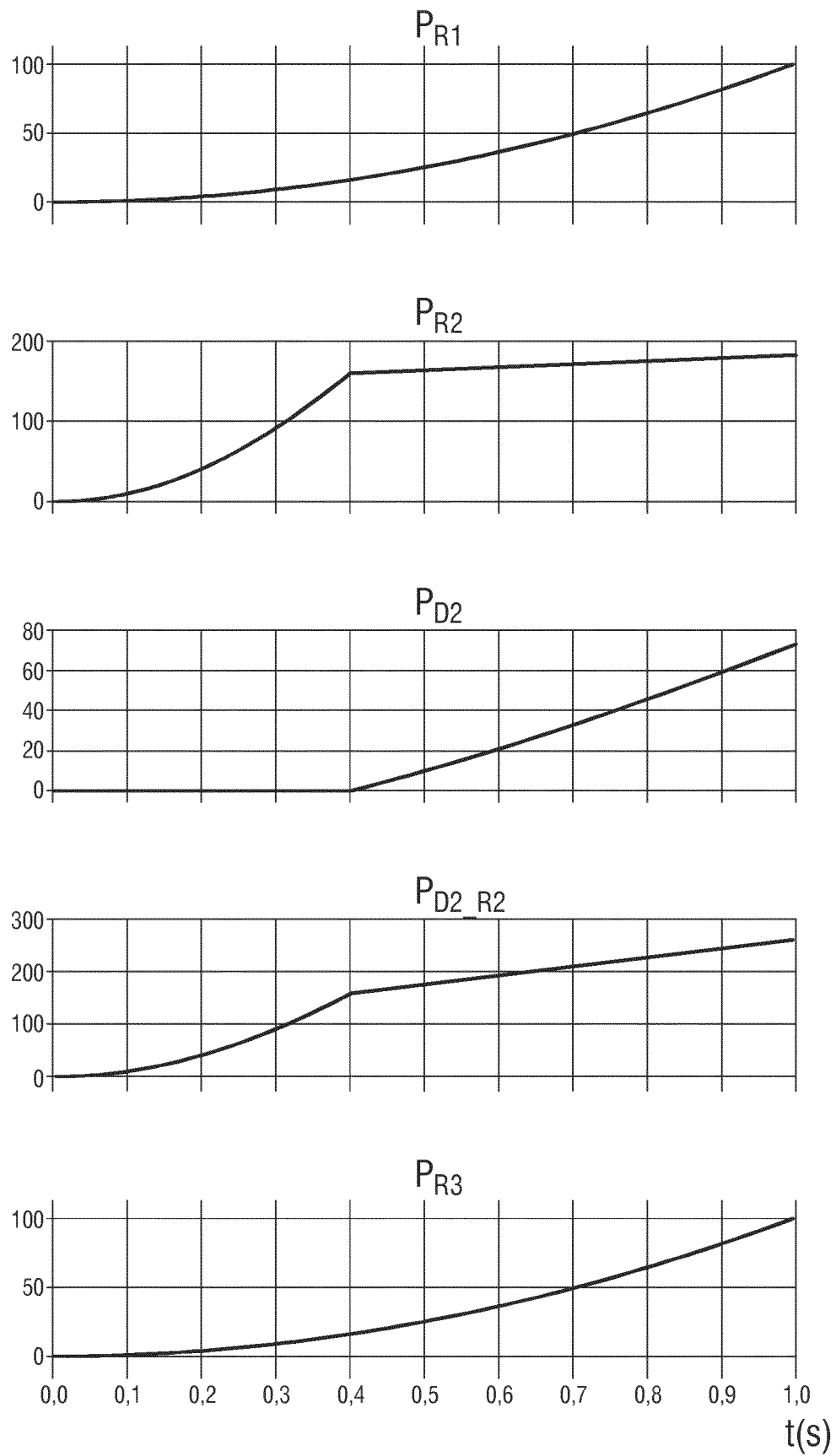


FIG 3

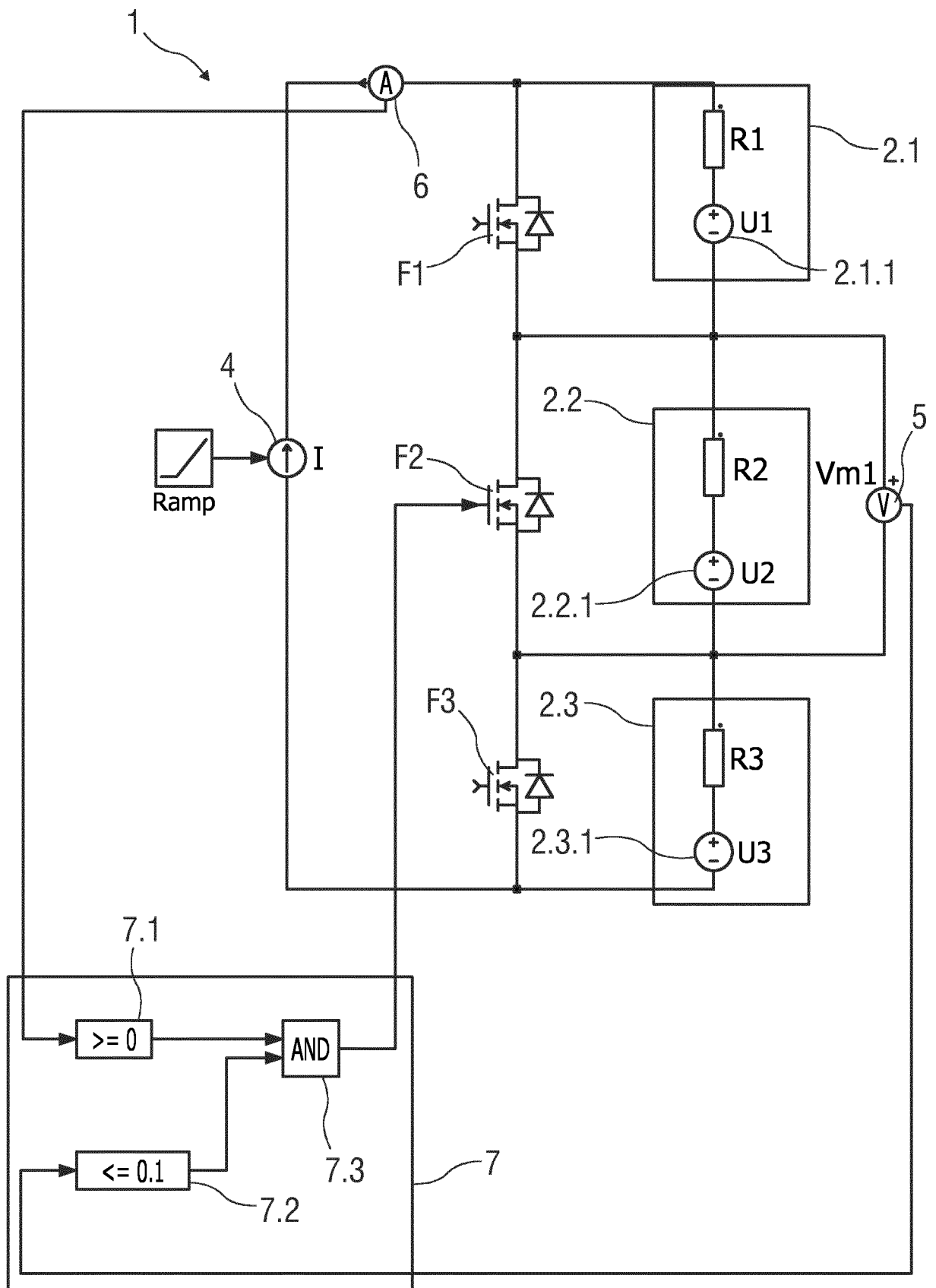


FIG 4

5/6

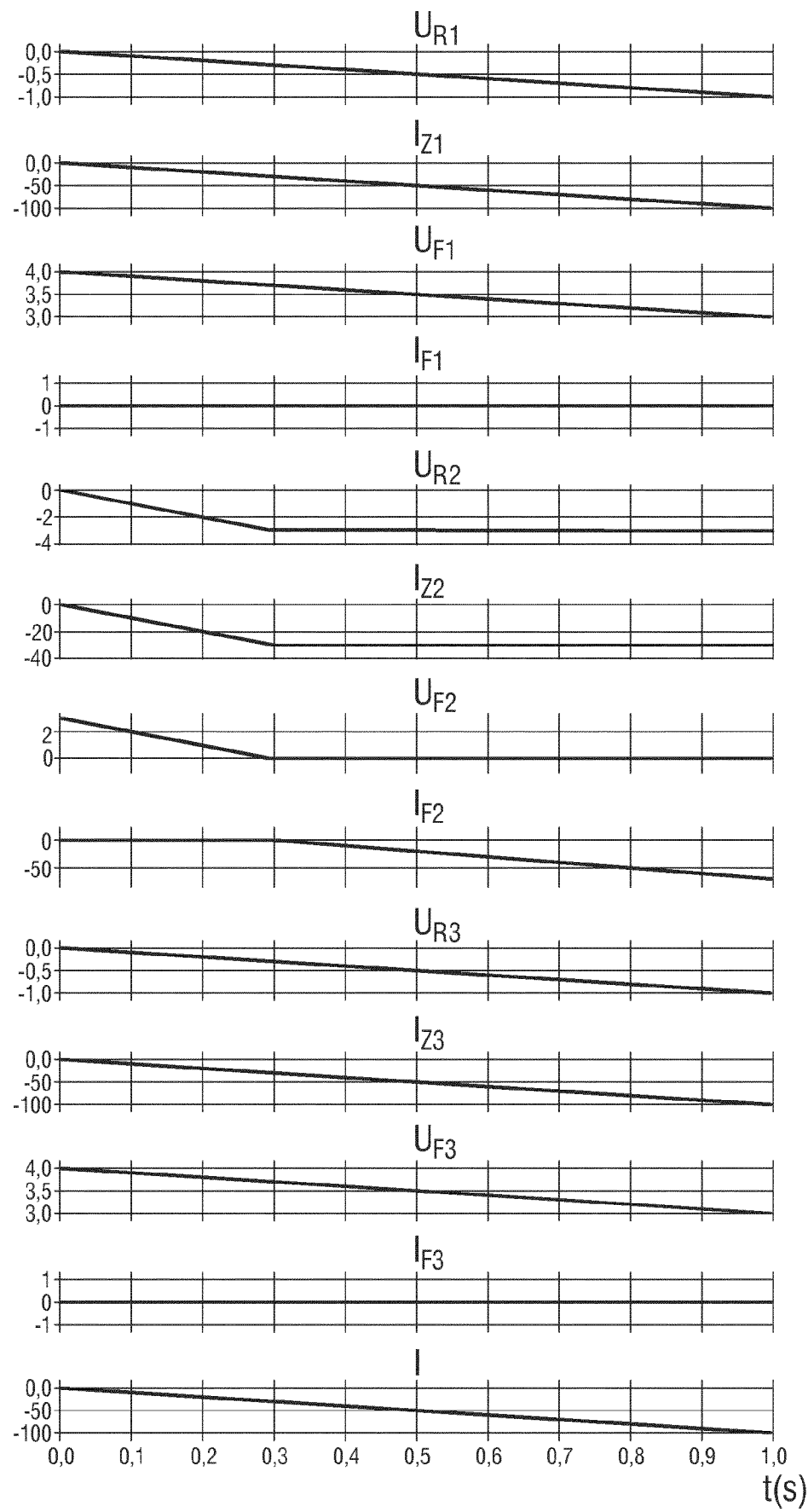


FIG 5

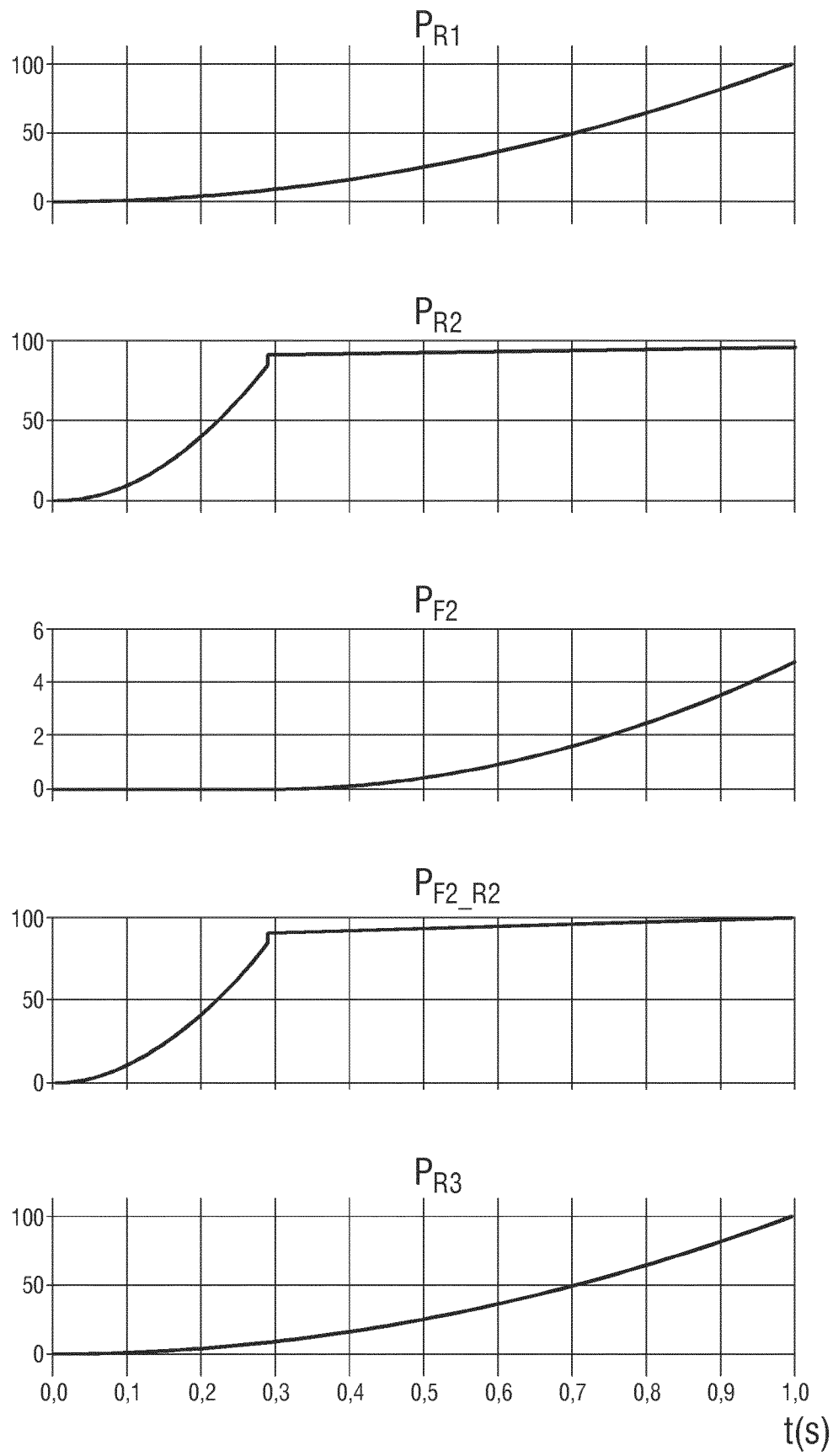


FIG 6