



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 031 216 A1 2006.01.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 031 216.8

(51) Int Cl.⁸: H02J 15/00 (2006.01)

(22) Anmeldetag: 28.06.2004

(43) Offenlegungstag: 19.01.2006

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

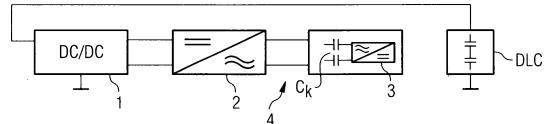
Bolz, Stephan, 93102 Pfatter, DE; Götzenberger, Martin, 85051 Ingolstadt, DE; Knorr, Rainer, 93055 Regensburg, DE; Lugert, Günter, Dr., 93055 Regensburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Ladungsausgleich in Reihe geschalteter Energiespeicher**

(57) Zusammenfassung: Dem gesamten aus den in Serie geschalteten einzelnen Energiespeichern bestehenden Kondensatormodul wird Energie entnommen und einem Wechselspannungsbust zugeführt. Die Spannung am Wechselspannungsbust steigt so weit, bis sie der niedrigsten Doppelschichtkondensatorspannung plus einer bzw. in der zweiten Ausführungsform plus zwei Diodenspannungen entspricht. Dadurch wird eine sehr effiziente Nachladung des am stärksten entladenen Kondensators erreicht. Die Gesamtschaltung benötigt keine komplexen, teuren Einzelbauteile. Durch die Wechselspannungs-Busstruktur ist das System leicht erweiterbar.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Ladungsausgleich in Reihe geschalteter Energiespeicher, insbesondere der in Reihe geschalteten Kondensatoren eines Doppelschichtkondensators, wie sie beispielsweise bei einem Kraftfahrzeug-Bordnetz Verwendung finden.

[0002] Doppelschichtkondensatoren haben sich als sinnvollste technische Lösung zur Speicherung und Bereitstellung kurzfristig hoher Leistungen in einem Kraftfahrzeug-Bordnetz herausgestellt, beispielsweise bei der Beschleunigungsunterstützung (Boosten) der Brennkraftmaschine durch einen als Elektromotor arbeitenden integrierten Starter-Generator oder bei der Wandlung von Bewegungsenergie beim regenerativen Bremsvorgang (Rekuperation) in elektrische Energie durch den als Generator arbeitenden integrierten Starter-Generator.

[0003] Die maximale Spannung eines Einzelkondensators eines Doppelschichtkondensators ist auf etwa 2.5 V bis 3.0 V begrenzt, so dass für eine Spannung von beispielsweise 60 V – ein typischer Spannungswert für einen in einem 42V-Bordnetz verwendeten Doppelschichtkondensator – etwa 20 bis 25 Einzelkondensatoren zu einem Kondensatorstapel in Reihe geschaltet werden müssen.

[0004] Bedingt durch unterschiedliche Selbstentladung der Einzelkondensatoren (etwa um 5% bis 8% innerhalb von 16 Stunden) baut sich im Lauf der Zeit ein Ladungsungleichgewicht im Kondensatorstapel auf, welches den Doppelschichtkondensator letztendlich unbrauchbar macht, wenn kein Ladungsausgleich vorgenommen wird. Extrapoliert man die Entladekurve auf Zeiträume von Wochen bis Monate, die beim Kraftfahrzeug relevant sind, so wird das bestehende Problem offensichtlich. [Fig.1](#) zeigt einen beispielhaften Verlauf der Kondensatorspannungen für einen Kondensatorstapel mit 18 Kondensatoren. Die in [Fig.1](#) dargestellte Streubreite zeigt, wie weit die Selbstentladung der Einzelzellen innerhalb eines Kondensatormoduls schwanken kann. Extrapoliert man die Kurven auf Zeiträume von Wochen bis Monaten, wie für den Gebrauch eines Kraftfahrzeugs relevant sind, so wird das bestehende Problem offensichtlich.

[0005] Ein einfacher Ladungsausgleich, beispielsweise durch geringes Überladen des Stapels wie bei einem Blei-Säure-Akkumulator, ist bei einem Doppelschichtkondensator jedoch nicht möglich.

[0006] Eine firmenintern bekannte Möglichkeit besteht darin, die Spannung jedes Einzelkondensators mittels separater Elektronik zu überwachen und bei Erreichen oder Überschreiten eines Maximalwertes eine Teilentladung mittels eines

anschaltbaren Parallelwiderstandes (Shunt) herbeizuführen (vgl. [Fig. 2](#)). Der Kondensator entlädt sich dann über den Shunt und seine Spannung sinkt wieder unter den Maximalwert.

[0007] Wird der Maximalwert um einen vorbestimmten Spannungswert unterschritten, so wird der Shunt wiederum abgeschaltet und dem Kondensator wird keine weitere Ladung entnommen.

[0008] Solch eine Schaltung verbraucht im passiven Zustand wenig Energie, jedoch wird der Ladungsausgleich durch Ladungsabbau (Energieverlust im Modul) erzielt.

[0009] Diese Variante ist sinnvoll dort einzusetzen, wo ein Kondensatormodul überwiegend nahe der Maximalspannung betrieben wird, etwa bei der Versorgung von Notstromanlagen.

[0010] Das Konzept ist jedoch darauf beschränkt, dass der Ladestrom in den Kondensatormodul hinein kleiner sein muss als der Entladestrom der Ladungsausgleichsschaltung, da ansonsten trotzdem eine Überladung von einzelnen Kondensatoren beim Aufladen des Moduls möglich ist. Zudem kann das Ausgleichssystem nicht von extern eingeschaltet werden, sondern kann nur durch Überschreiten der vorbestimmten Spannungsschwelle aktiviert werden. Bei dem Betrieb in einem Kraftfahrzeug wird jedoch genau dieser Zustand nicht über eine längere Zeit erreicht. Ein so gestalteter Ladungsausgleich führt langfristig zu einer Unsymmetrie im Kondensatormodul. Dies konnte bereits durch Messungen in einem Versuchsfahrzeug verifiziert werden.

[0011] Zusammengefasst hat eine solche Schaltungsanordnung folgende Nachteile:

- Keine Rückmeldung an eine übergeordnete Betriebsführung, wenn ein Kondensator die maximale Spannung überschritten hat (beispielsweise $U_C > 2.5$ V)
- Keine Rückmeldung, ob die Kondensatorspannungen gleich groß sind und daher das Kondensatormodul ausgeglichen ist.
- Der Ausgleich wird nur aktiviert wenn die maximale Spannung überschritten wird.
- Energie wird während des Ausgleichsvorganges von Widerständen in Wärme umgewandelt.
- Bei hohen Strömen von bis zu ca. 1 kA, wie sie bei der oben beschriebenen Fahrzeugfunktion Rekuperation „Regeneratives Bremsen“ auftreten, ist ein derartig aufgebauter Ladungsausgleich ausgeschlossen.

Stand der Technik

[0012] Aus EP 0 432 639 B2 ist bekannt, bei einer Vielzahl von in Reihe geschalteten Akkumulatoren einen Ladungsausgleich zwischen einem schwach ge-

ladenen Akkumulator und der Gruppe der übrigen Akkumulatoren herbeizuführen, indem für jeden Einzelakkumulator des Akkumulatorstapels eine Vergleichsschaltung und eine Ladeschaltung, welche einen Rechteck-Funktionsgenerator aufweist, sowie eine Diode, ein Transformator und ein Unterbrecher vorgesehen sind. Mittels dieser als Flyback-Converter (nach dem Sperrwandlerprinzip) arbeitenden Vorrichtung wird dem gesamten Stapel Energie entnommen und diese anschließend in den am meisten entladenen Akkumulator zurückgespeist.

[0013] Dieser Aufwand mag für zwei oder drei Akkumulatoren gerechtfertigt sein, für einen Stapel aus zwanzig oder mehr Akkumulatoren/Kondensatoren ist er entschieden zu hoch.

[0014] Alternativ kann hier auch eine andere Energiequelle – etwa eine zusätzliche Batterie – genutzt werden, wodurch die Schaltung zusätzlich zum langsamem Aufladen des Kondensatormoduls dienen kann (DE 102 56 704 B3).

[0015] Diese Form des Ladungsausgleichs kann zudem unabhängig vom Erreichen einer maximalen Spannung des Einzelkondensators jederzeit durchgeführt werden, so dass sich ein gefährliches Ladungsungleichgewicht im Kondensatormodul gar nicht erst aufbauen kann.

[0016] Zudem werden dabei nur Ladungen verschoben. Es wird dem Modul langfristig keine Energie entnommen oder in Wärme umgesetzt. Dies macht das Konzept für Kraftfahrzeug-Anwendungen besonders attraktiv, da auch nach längerem Fahrzeugstillstand genügend Energie im Bordnetz vorhanden sein muss, um einen erfolgreichen Motorstart sicher zu gewährleisten.

[0017] Nachteilig ist bei der Ausführung allerdings, dass die Sekundärseite des Flyback-Transformators sehr viele Anschlüsse hat. Bei einem Kondensatormodul mit beispielsweise 25 Einzelkondensatoren, wie er für das 42V-Bordnetz benötigt wird, ergeben sich daraus 50 Anschlüsse. In der technischen Realisierung würde dies einen speziellen Wickelkörper erforderlich machen, der handelsüblich nicht verfügbar ist. Zudem bedarf jede Änderung der Kondensatanzahl im Modul einer Anpassung des Transformators. Dies ist aber zu erwarten, da mit der technischen Weiterentwicklung des Doppelschichtkondensators die zulässige Maximalspannung von Generation zu Generation steigt und bei gegebener Modulspannung entsprechend weniger Einzelkondensatoren benötigt werden.

[0018] Zudem ist die Leitungsführung vom Transformator zu den Kondensatoren aufwendig, da jeder Kontakt im Modul separat verbunden werden muss. Im obigen Beispiel ergibt dies 26 Leitungen, sofern

die Gleichrichterdioden am Transformator angeordnet sind; ansonsten sind es 50 Leitungen.

[0019] Darüber hinaus sind diese Leitungen mit hochfrequenten Spannungspulsen aus den Schaltvorgängen des Flyback- Konverters belastet und benötigen gesonderte EMV Entstörmaßnahmen.

[0020] Ein weiterer Aspekt ist die Methode zum Betrieb des Flyback-Konverters. Marktübliche Ansteuerschaltungen (Schaltregler-ICs) arbeiten fast ausschließlich mit einer festen Schaltfrequenz. Die Aufladung des Magnetspeichers (Speicherinduktivität oder -transformator) erfolgt in der einen Phase, die Entladung, bzw. Energieübertragung in den Ausgangskreis erfolgt in der anderen Phase des Taktes. Dies ist vor allem sinnvoll, wenn neben dem geschalteten Strom auch ein Gleichstromanteil mit übertragen wird (nicht-lückender Betrieb). Ganz generell versucht man, eine Schaltlücke – also einen Zeitraum, wenn das magnetische Speicherelement völlig entladen bleibt – zu vermeiden, da dann verstärkt Oszillationsneigungen auftreten und die Speichereigenschaften des Magnetkernes nicht optimal genutzt werden. Die Oszillationen sind in dem Resonanzkreis begründet, der aus Speicherinduktivität und Wicklungskapazität besteht, sowie der Tatsache, dass der Resonanzkreis anfangs der Schaltlücke angeregt ist und durch keine ohmsche Last bedämpft wird.

[0021] Im vorliegenden Anwendungsfall ist ein nicht-lückender Betrieb jedoch nicht möglich da bei kontinuierlichem Nachladen des Magnetspeichers (Speicherinduktivität oder -transformator) jeweils vor dessen vollständiger Entladung eine Sättigung des Kernmaterials nicht zu vermeiden ist.

Aufgabenstellung

[0022] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung mit einem vereinfachten Aufbau zu schaffen, mittels welcher ein selbststeuerter Betrieb zum Ladungsausgleich zwischen den einzelnen in Serie geschalteten Energiespeichern mit geringem technischem Aufwand erreicht werden kann. Aufgabe der Erfindung ist es auch, ein Verfahren zu Ladungsausgleich zu schaffen, mit dessen Hilfe eine Funktionsüberwachung der Vorrichtung, der einzelnen Energiespeicher und der in Serie geschalteten Energiespeicher als Modul vorgenommen werden kann.

[0023] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung gemäß den Merkmalen von Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß den Merkmalen von Anspruch 6 gelöst.

[0024] Bei zumindest zwei in Reihe geschaltete Energiespeichern wird die zum Ausgleich der in den Energiespeichern gespeicherten Ladung benötigte Energie über einen Wechselspannungsbus jeweils dem

Energiespeicher, über dem die geringste Spannung abfällt, zugeführt.

[0025] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0026] Die Anbindung und Potentialtrennung der Doppelschichtkondensatoren kann über Kondensatoren erfolgen.

[0027] Die Installation ist, durch das Bussystem einfach durchführbar. Die einzelnen Energiespeicher werden über eine oder zwei Busleitungen versorgt.

[0028] Es werden für die Schaltung nur wenige und billige Komponenten benötigt. Bei diesen handelt es sich im Wesentlichen um Standardkomponenten.

[0029] Der Ausgleichsvorgang kann jederzeit aktiviert werden. Diese Aktivierung kann beispielsweise durch ein Steuergerät erfolgen, das den Aktivierungszeitpunkt aufgrund von Betriebsparametern eines Kraftfahrzeugs, insbesondere einer Brennkraftmaschine und/oder eines Starter-Generators, bestimmt.

[0030] Über die Ausgleichsschaltung kann ein Nachladen des Kondensatormoduls erfolgen. Auf diese Weise kann eine Serienschaltung leerer Energiespeicher aus einem weiteren Energiespeicher wieder aufgeladen werden und so beispielsweise ein Kraftfahrzeug, das längere Zeit stand, wieder startfähig gemacht werden.

[0031] Das Gesamtsystem ist einfach zu erweitern und dadurch leicht skalierbar.

[0032] Die Schaltungsanordnung eignet sich in besonderer Weise für eine Integration in das Modul der in Reihe geschalteten Energiespeicher und/oder die Gehäuse der einzelnen Energiespeicher.

[0033] Als Energiespeicher eignen sich hier insbesondere Doppelschichtkondensatoren, sog. Super- oder Ultra-Caps.

Ausführungsbeispiel

[0034] Ausführungsbeispiele nach der Erfindung werden nachstehend anhand einer schematischen Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0035] [Fig. 1](#) einen Verlauf der Kondensatorspannungen verschiedener Energiespeicher eines Moduls über der Zeit,

[0036] [Fig. 2](#) eine bekannte Schaltungsanordnung zum Erzielen eines Ladungsausgleichs bei Energiespeichern,

[0037] [Fig. 3](#) eine weitere bekannte Schaltungsanordnung zum Erzielen eines Ladungsausgleichs bei Energiespeichern,

[0038] [Fig. 4](#) ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Ladungsausgleichsschaltung,

[0039] [Fig. 5](#) ein Ausführungsbeispiel einer Ladungsausgleichsschaltung, und

[0040] [Fig. 6](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Ladungsausgleichsschaltung.

[0041] Um einen Ladungsausgleich an den in Serie geschalteten Energiespeichern Z_1, \dots, Z_n , hier Doppelschichtkondensatoren erreichen zu können, muss den Energiespeichern Z_1, \dots, Z_n , die die höchste Spannung U_{Z1}, \dots, U_{Zn} aufweisen, Energie entnommen und über eine geeignete Schaltung dem Energiespeicher Z_1, \dots, Z_n wieder so zugeführt werden, dass die Energiespeicher Z_1, \dots, Z_n , an denen die geringste Spannung U_z liegt, geladen werden.

[0042] Ein Blockschaltbild der prinzipiellen Schaltung ist in [Fig. 4](#) dargestellt.

[0043] Durch einen ersten Wandler 1, vorzugsweise einem stromgeregelten DC/DC-Wandler, in diesem Fall einem Tiefsetzsteller, wird eine Gleichspannung erzeugt. Diese wird über einen zweiten Wandler 2, einem Wechselspannungswandler, hier eine Halbbrücke mit einer Pulsfrequenz von zum Beispiel $f_{Puls} = 50$ kHz wechselgerichtet und damit ein AC-Bus 4 betrieben. Als Bus wird hier ein System von Leitern (Kabeln, Kupferschienen, etc.) bezeichnet.

[0044] Dieser Bus 4 wird über jeweils einen Koppelkondensator C_K mit den in Serie geschalteten Energiespeichern Z_1, \dots, Z_n verbunden. Die Koppelkondensatoren C_K werden zur Potentialtrennung eingesetzt und durch die AC-Spannung teilweise umgeladen werden. Der durch den Koppelkondensator C_K fließende Wechselstrom wird mit einem Gleichrichter, beispielsweise einem Diodengleichrichter D_{51}, \dots, D_{5n} oder D_{61}, \dots, D_{6n} , gleichgerichtet.

[0045] Der pulsierende Gleichstrom kommt nur am Doppelschichtkondensator mit der geringsten Spannung $U_{Zn, min}$ zum Fließen und lädt dann als erstes diesen Kondensator Z so lange auf, bis dieser den Kondensator mit der nächst höheren Spannung erreicht hat. Der pulsierende Strom teilt sich dann auf die zwei Kondensatoren auf. Auf diese Weise wird ein Ladungsausgleich erzielt.

[0046] [Fig. 5](#) zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer solchen Schaltungsanordnung. Die über der Serienschaltung der einzelnen Energiespeicher Z_1, \dots, Z_n abfallende Spannung U_{DLC} wird einem Gleichspannungswandler 1 über eine erste Schalteinheit

S1 zugeführt. Über die Schalteinheit **1** kann zusätzlich oder alternativ eine Batterie B mit dem Gleichspannungswandler **1** verbunden werden. Der Gleichspannungswandler **1** ist wiederum mit einem Eingang eines Wechselspannungswandlers **2** elektrisch verbunden. Der Wechselspannungswandler **2** weist hier zwei als Halbbrücke geschaltete Transistoren T1 und T2 auf. Der Ausgang des Wechselspannungswandlers **2** ist mit einem Bus **4** verbunden, der wiederum über jeweils ein Koppelmittel, hier einen Koppelkondensator CK1, ..., CKn mit dem jeweiligen Energiespeicher Z1, ..., Zn elektrisch verbunden ist. Zwischen Koppelkondensator CK1, ..., CKn und dem jeweiligen Energiespeicher Z1, ..., Zn ist jeweils ein Gleichrichter, hier jeweils zwei Dioden D51, D52. Diese verbinden den dem Bus **4** abgewandten Anschluss des Koppelkondensators CK einerseits mit dem ersten Anschluss des jeweiligen Energiespeichers Zn und anderseits mit dem zweiten Anschluss des jeweiligen Energiespeichers Zn. Hierbei ist die Diode D51 vom Koppelkondensator CK1 zum positiven Anschluss des Energiespeichers Z1 in Durchflussrichtung geschaltet. Die Diode D52 ist vom Koppelkondensator CK1 zum negativen Anschluss des Energiespeichers Z1 in Sperrrichtung geschaltet.

[0047] Die Halbbrücke T1, T2 liefert eine rechteckförmige Wechselspannung, die durch die Koppelkondensatoren CK1, ..., CKn an die einzelnen Energiespeicher Z1, ..., Zn übertragen werden kann.

[0048] Es können verschiedene Kondensatorenarten Verwendung finden. Allerdings muss Kapazität, Frequenz und der innere Verlustwiderstand ESR des Kondensators miteinander abgestimmt werden. Eine Fehlabstimmung würde zu einer zu großen Umladung der Koppelkondensatoren CK führen und somit die Selektivität und Trennschärfe der Ausgleichsschaltung nachhaltig verschlechtern.

[0049] Über die anschließenden Dioden D51, ..., D5n wird der Strom wieder gleichgerichtet und dem jeweiligen Energiespeicher Z1, ..., Zn als Ladestrom zugeführt.

[0050] Die Schaltung lässt sich in drei Teilschaltungen aufteilen. Der erste Teil **1** ist eine Stromquelle, die vorteilhaft als Schaltregler ausgeführt. Energie kommt aus dem Gesamtmodul DLC oder alternativ aus einer zweiten Quelle, wie z.B. einer Batterie B, die einem Zwischenkreiskondensator CZ der zweiten Teilschaltung **2** zugeführt wird. Für die erste Teilschaltung kommen alle bekannten Varianten von Schaltreglern in Frage, vorteilhaft ein Abwärtsschaltregler, bestehend aus Transistor, Drossel und Freilaufdiode.

[0051] Der zweite Teil **2** weist eine Brückenschaltung auf, die aus dem Zwischenkreis versorgt wird, und dessen Ausgang als Wechselspannungs-Bus

(AC-Bus) **4** an alle lokalen Ankoppelmodule geführt wird. Sie erzeugt eine Wechselspannung als Differenzsignal zu Masse GND.

[0052] Der dritte Teil ist je Doppelschichtkondensator (DLC) einmal vorhanden. Der Koppelkondensator CK1, ..., CKn wird auf der Seite des Doppelschichtkondensators in der Low-Phase des Wechselspannungssignals durch die untere Diode D52 (hier beispielhaft für Z1 erläutert) auf das untere Potenzial des Energiespeicher Z1 abzüglich der Diodenflussspannung geladen. Wenn das Wechselspannungssignal das Potenzial anschließend ausreichend weit anhebt, fließt Ladung in den Energiespeicher Z1 ab. Es stellt sich also in dem Energiespeicher Z1 ein pulsierender Ladestrom ein, während alle vom Potenzial darunter liegenden Doppelschichtkondensatoren einen Wechselstrom erfahren.

[0053] Die Energie, mit der der Doppelschichtkondensator (hier Z1) geladen wird stammt aus dem Zwischenkreiskondensator CZ, der sich durch diese Belastung einerseits und die konstante Nachladung andererseits auf eine geeignete Spannung UCZ selbstständig einstellt. Dabei ergibt sich auch automatisch, dass der Energiespeicher Z über dem die geringste Spannung abfällt am meisten Energie bekommt (beispielsweise Z1), während Doppelschichtkondensatoren Z2, ..., Zn über denen eine höhere Spannung abfällt gar keine Energie mehr bekommen. Der Zwischenbereich kann durch geeignete Wahl der Komponenten optimiert werden.

[0054] Dabei stellen sich hochkapazitive Koppelkondensatoren CK1, ..., CKn hoher Güte und Dioden D51, ..., DSn mit geringen Durchlassspannungen als besonders geeignet dar.

[0055] Die Schaltung weist die folgenden Funktionsgruppen auf:

- dem stromgeregelten Tiefsetzsteller **1** der die H-Brücke speist,
- der selbstgetakteten H-Brücke,
- dem Wechselspannungsbus **4**, an dem die einzelnen Energiespeicher zur Auskopplung der Energie angeschlossen sind,
- den Koppelkondensatoren CK1, ..., CKn zur Potentialtrennung und Energieübertragung,
- den Dioden D51, ..., D5n zur Gleichrichtung des Wechselstromes, der den Energiespeicher Zn mit der geringsten Spannung lädt.

[0056] [Fig. 6](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung mit Koppelkondensatoren mit Graetz-Gleichrichter in einer 2-Phasen Variante.

[0057] Ähnlich oder funktionsidentische Teile tragen hier die gleichen Bezugszeichen.

[0058] Die Version mit 2-Phasen arbeitet prinzipiell,

wie die zuvor beschriebene und in [Fig. 5](#) dargestellte Version mit nur einer Phase. Wie auch bei anderen mehrphasigen Schaltwählern ergeben sich in den Komponenten aber gewisse Vorteile, die dem Mehraufwand gegengerechnet werden müssen.

[0059] Das Ausführungsbeispiel weist einen 2-phasigen Bus auf, der aus zwei Leitungen **4.1** und **4.2** besteht. Jede Leitung wird über eine Halbbrücke T1, T2 bzw. T3, T4 mit Energie versorgt. Jede Bus-Leitung **4.1**, **4.2** ist über jeweils einen Koppelkondensator CK1, ..., CKn mit einem der in Reihe geschalteten Energiespeicher Z1, ..., Zn verbunden. Zwischen den jeweiligen Koppelkondensator CK und den Energiespeicher Z ist hier wiederum ein Gleichrichter geschaltet, der im hier dargestellten Ausführungsbeispiel wieder jeweils zwei Dioden D61, D63 aufweist. Diese verbinden wiederum den dem Bus **4** abgewandten Anschluss des Koppelkondensators CK einerseits mit dem ersten Anschluss des jeweiligen Energiespeichers Zn und anderseits mit dem zweiten Anschluss des jeweiligen Energiespeichers Zn. Hierbei ist die Diode D61 vom Koppelkondensator CK1 zum positiven Anschluss des Energiespeichers Z1 in Durchflussrichtung geschaltet. Die Diode D63 ist vom Koppelkondensator CK1 zum negativen Anschluss des Energiespeichers Z1 in Sperrrichtung geschaltet.

[0060] Wesentlicher Vorteil bei 2-Phasen ist hierbei, dass der Wechselstrom durch die eigentlich unbeteiligten, vom Potenzial unter dem zu ladenden Energiespeicher Z1 liegenden Doppelschichtkondensatoren Z2, ..., Zn weitestgehend entfällt. Es kompensiert sich der Nachladestrom des einen Koppelkondensators CK3 und der Entladestrom des anderen Kondensators CK4 (beispielhaft für Z2).

[0061] Durch den Tiefsetzsteller wird die Energie dem gesamten aus den in Serie geschalteten einzelnen Energiespeichern Z bestehenden Kondensatormodul, dem gesamten Doppelschichtkondensator DLC, entnommen. Wahlweise kann dem System über einen zusätzlichen Schalter S1 Energie zugeführt werden.

[0062] Die Spannung am AC-Bus **4** steigt soweit, bis sie der niedrigsten Doppelschichtkondensatorspannung plus einer bzw. in der zweiten Ausführungsform gemäß [Fig. 6](#) plus zwei Diodenspannungen entspricht. Dadurch wird eine sehr effiziente Nachladung des am stärksten entladenen Energiespeichers Z erreicht. Die Gesamtschaltung benötigt keine komplexen, teuren Einzelbauteile.

[0063] Durch die AC-Bus-Struktur **4** ist das System leicht erweiterbar. Zusätzliche Energiespeicher Z_{n+1} werden können einfach an den Bus **4** angeschlossen werden.

[0064] Die Ladungsausgleichschaltung kann auch

zum Ladungsausgleich von anderen Energiespeichern, beispielsweise in Serie geschalteter Akkumulatoren, verwendet werden.

[0065] Diese Schaltungsanordnungen können sowohl in ein Gehäuse integriert werden, das den einzelnen Energiespeicher Z umgibt oder in ein Gehäuse, in dem die Gesamtheit der in Reihe geschalteten Energiespeicher Z1, ..., Zn angeordnet ist. Auf diese Weise kann eine kompakte Einheit aufgebaut werden, die lediglich drei bzw. vier Anschlüsse (VCC, GND, Busleitung **4** bzw. **4.1** und **4.2**) aufweist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ladungsausgleich in Reihe geschalteter Energiespeicher, die aufweist:

- zumindest zwei in Reihe geschaltete Energiespeicher (Z1, Z2, ..., Zn),
- einen Bus (**4**), der mit der Energie der in Serie geschalteten Energiespeicher (DLC) und/oder der Energie eines externen Energiespeichers (B) versorgt wird, wobei der Bus (**4**) mit einer Wechselspannung beaufschlagt ist, und
- jeweils ein Koppelmittel, über das der jeweilige Energiespeicher (Z1, ..., Zn) mit dem Bus (**4**) verbunden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Koppelmittel einen Koppelkondensator (C_{K1}, C_{K2}, ..., C_{Kn}) und einen Gleichrichter (D51, ..., D5n oder D61, ..., D6n) aufweist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die über den in Reihe geschalteten Energiespeichern (Z1, Z2, ..., Zn) abfallende Spannung (U_{DLC}) einem Gleichspannungswandler (**1**) zugeführt wird, der Gleichspannungswandler (**1**) mit einem Eingang eines Wechselspannungswandlers (**2**) verbunden ist und der Ausgang des Wechselspannungswandlers (**2**) mit dem Bus (**4**) verbunden ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselspannungswandler (**2**) eine selbstgetaktete Halbrücken-Anordnung (T1, T2, T3, T4) aufweist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselspannungswandler (**2**) ein mehrphasiger Spannungswandler ist und der Bus (**4**) zwei Leitungen aufweist.

6. Verfahren zum Ladungsausgleich in Reihe geschalteter Energiespeicher, das die folgenden Schritte aufweist:

- Versorgen eines Busses (**4**) über die Energie, die in den in Serie geschalteten Energiespeichern (DLC) gespeichert ist und/oder die Energie eines externen Energiespeichers (B), wobei der Bus (**4**) mit einer

Wechselspannung versorgt wird, und

– Ankoppeln der in Serie geschalteten Energiespeicher (Z_1, \dots, Z_n) an den Bus (4) über jeweils ein Kopplungsmittel, wobei jeweils der Energiespeicher (Z_1, \dots, Z_n) geladen wird, über dem die kleinste Spannung (U_{Z1}, \dots, U_{Zn}) abfällt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 1

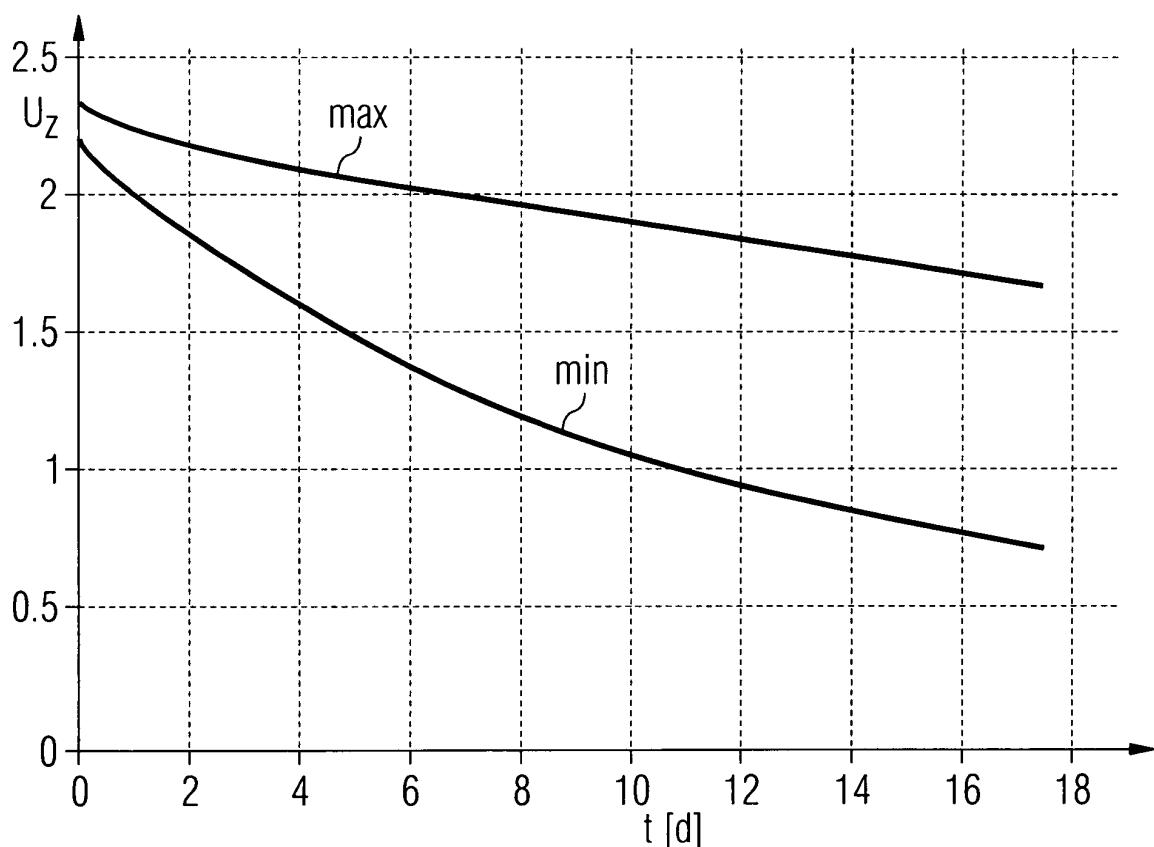


FIG 2

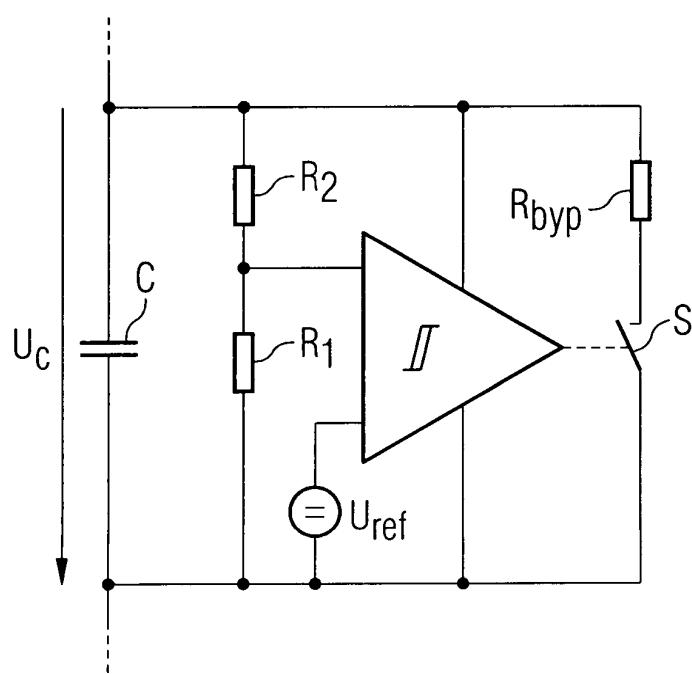


FIG 3

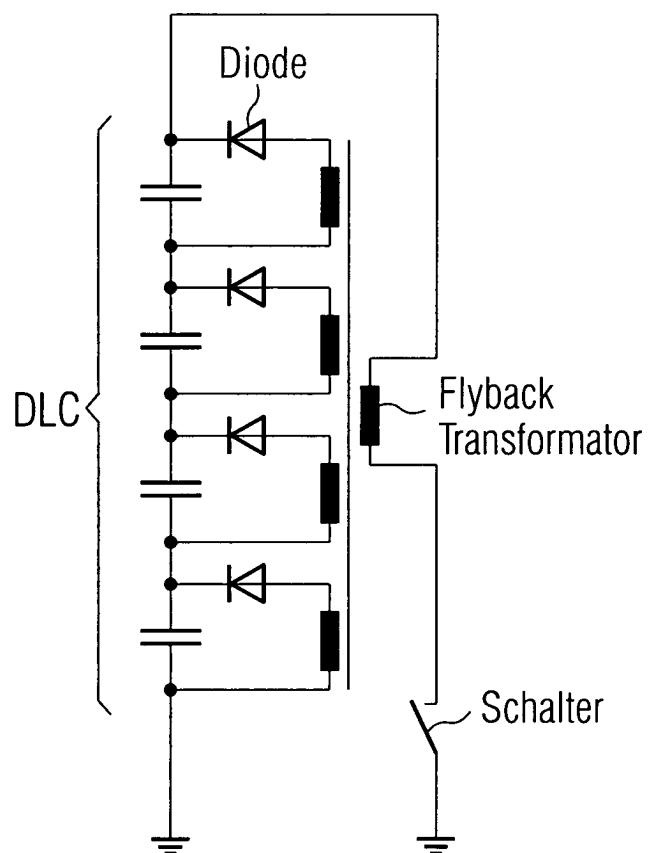


FIG 4

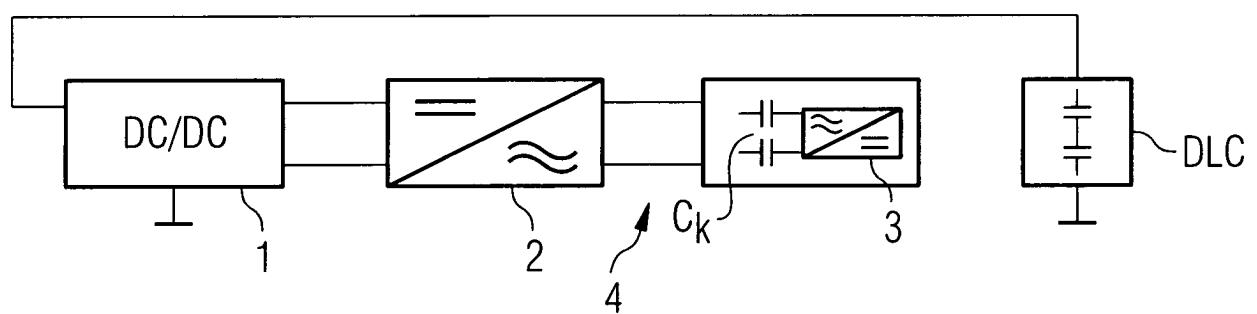


FIG 5

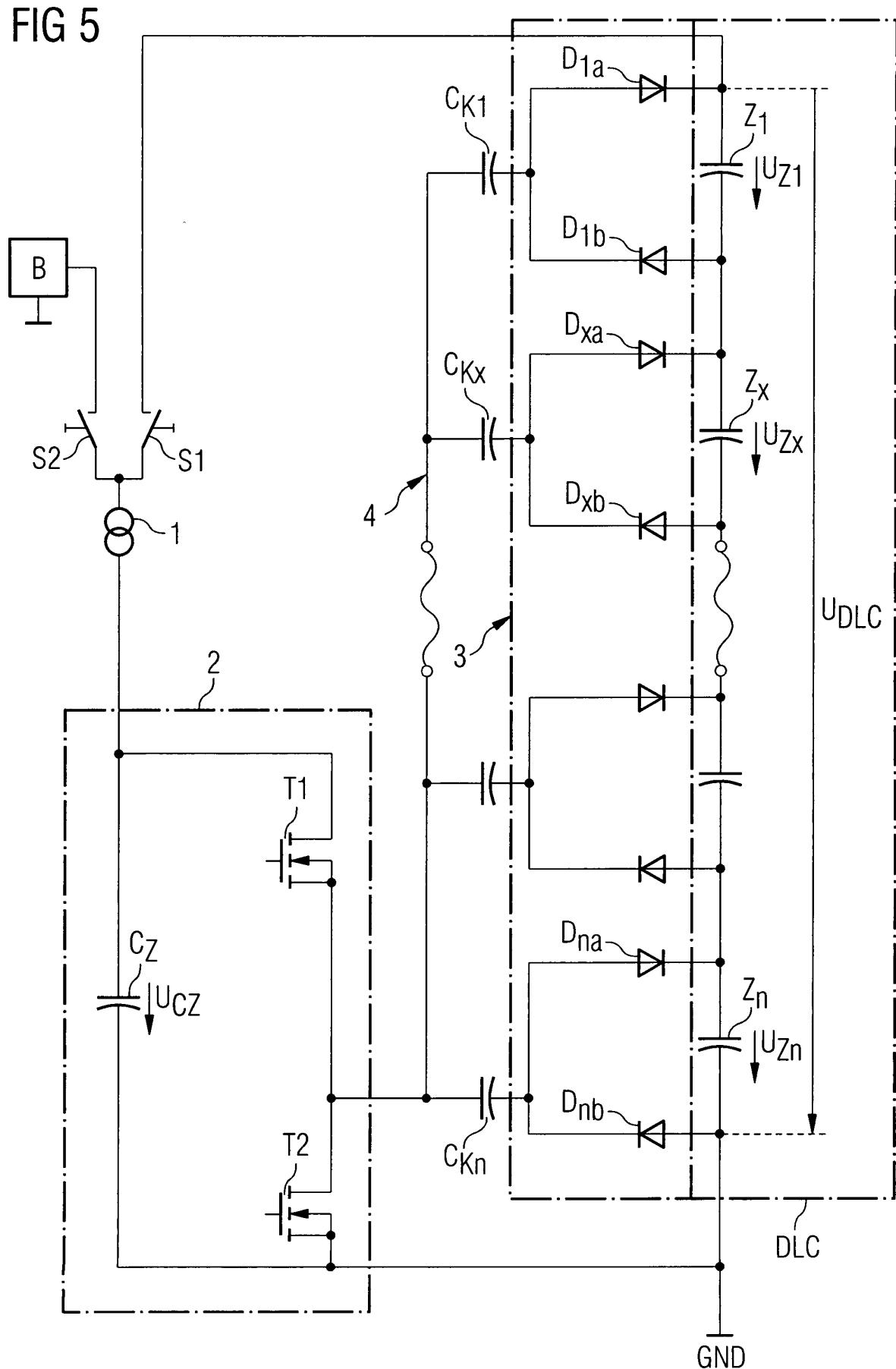


FIG 6

