

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 715 078 A2

(51) Int. Cl.: H02J 7/00 (2006.01)
H01M 10/44 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00742/18

(71) Anmelder:
Manuel Räber, Hegistrasse 35d
8404 Winterthur (CH)

(22) Anmeldedatum: 09.06.2018

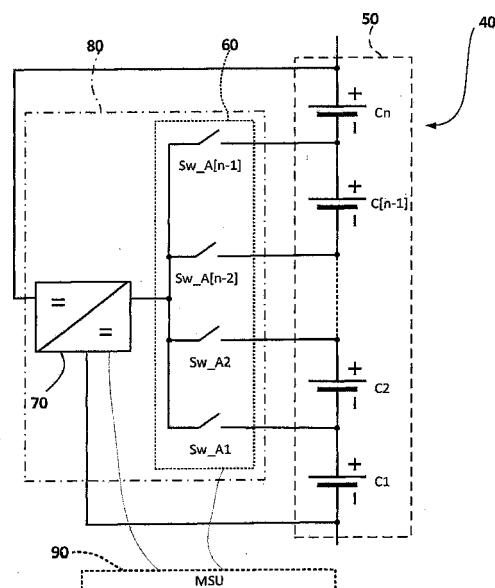
(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.12.2019

(72) Erfinder:
Manuel Räber, 8404 Winterthur (CH)

(54) Elektronische Schaltung zum Durchführen eines Ladezustandsausgleichs zwischen Batteriezellen eines Batteriesystems.

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Batteriezellmodul (40) mit mehreren in Reihe zugeschalteten Batteriezellen (C1, C2, Ci, Cn) und eine Ladungszustandsausgleichseinheit (80) zum Durchführen eines Ladungszustandsausgleichs zwischen den Batteriezellen des Batteriezellpacks (50). Bei dem erfindungsgemässen Batteriezellmodul (40) erfolgt der Ladungszustandsausgleich durch Verwendung mindestens eines nicht isolierten DC/DC-Wandlers (70). Die Ladungszustandsausgleichseinheit (80) dient dazu, einem durch die Schaltmatrix (60) selektierten Abschnitt des Batteriezellpacks (50) eine erste elektrische Energiemenge zu entnehmen und im gesamten Batteriezellpack (50) zwischenzuspeichern und die zwischengespeicherte erste elektrische Energiemenge einem weiteren Abschnitt des Batteriezellpacks (50) zuzuführen. Um die Verluste gering und die Ansteuerung einfach zu halten, ist die Schaltmatrix (60) langsam getaktet (weniger als 1 Hz). Ferner ist eine Mess- und Steuereinheit (90) dazu vorgesehen, die notwendigen Messwerte zu ermitteln und die korrekten Schalter anzusteuern.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Durchführung eines Ladezustandsausgleichs.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zum Ladezustandsausgleich zwischen einzelnen Batteriezellen eines Batteriesystems unter Einsatz von nicht isolierten Gleichspannungswandlern und einer Schaltmatrix.

[0002] Der Betrieb von modernen mobilen Elektrogeräten stellt hohe Anforderungen an Batteriesysteme bezüglich des nutzbaren Energieinhalts, des Lade- und Entladewirkungsgrades und der Zuverlässigkeit.

[0003] Um den Anforderungen nach einer geeigneten Gesamtspannung eines solchen Batteriesystems nachzukommen, werden viele einzelne Batteriezellen in Reihe geschaltet. Zusätzlich können Batteriezellen oder ganze Batteriezellstränge parallelgeschaltet werden, um bei vorgegebener Gesamtspannung den Energieinhalt oder die maximale elektrische Lade- oder Entladeleistung eines so ausgebildeten Batteriesystems anzupassen.

[0004] In Fig. 1 ist ein aus dem Stand der Technik bekanntes Batteriesystem (10) mit einer Batterie (20) gezeigt, die mehrere in Reihe geschaltete Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) umfasst. Dabei stellt n die Anzahl der in Reihe geschalteten Batteriezellen dar und i ist eine natürliche Zahl zwischen 1 und n . Zur Vereinfachung der Darstellung wurden in der Fig. 1 nur die erste Batteriezelle mit C_1 , die i -te Batteriezelle mit C_i und die n -te Batteriezelle mit C_n gekennzeichnet. Aufgrund der zulässigen Betriebsbedingungen darf bei einem solchen Batteriesystem (10) keine der Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) zu einem Zeitpunkt überladen oder zu weit entladen werden. Dies entspricht der Anforderung, die Leerlaufspannung jeder Batteriezelle (C_1, C_i, C_n) immer in einem erlaubten Bereich, der sich zwischen einer minimalen Leerlaufspannungsgrenze und einer maximalen Leerlaufspannungsgrenze erstreckt, zu halten. Um diese Anforderung zu erfüllen und um eine hinreichende Genauigkeit bei einer Messung der Gesamtspannung einer solchen Batterie (20) zu erzielen, müssen alle einzelnen Batteriezellspannungen gemessen und auf die Einhaltung der minimalen und der maximalen Leerlaufspannungsgrenzen hin überprüft werden. Aufgrund der Reihenschaltung werden alle Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) innerhalb eines Batteriezellstranges vom gleichen Strom durchflossen, das heisst, dass die Menge der entnommenen oder eingebrachten Ladung pro Batteriezelle für alle Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) identisch ist.

[0005] Die anfänglichen Ladezustände der Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) sind schon beim Zusammenbau der Batterie (20) nie genau gleich und verändern sich im Betrieb und während der Nutzung aufgrund von Unterschieden in den Selbstentladungsströmen der Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) und Unterschieden in den nominellen Kapazitäten der Batteriezellen (C_1, C_i, C_n). Eine weitere Ursache für Kapazitätsunterschiede der einzelnen Zellen besteht im Einfluss der herrschenden Lade- und Entladetemperatur, welche bei grösseren Batteriesystemen üblicherweise nicht für alle Zellen den gleichen Wert hat.

[0006] In der Realität kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Ladezustände beziehungsweise die Leerlaufspannungen der Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) immer weiter voneinander entfernen. Dies muss aus Sicherheitsgründen verhindert werden. Wenn die Leerlaufspannung einer einzigen Batteriezelle (C_1, C_i, C_n) die minimale Leerlaufspannungsgrenze erreicht hat, darf die gesamte Batterie (20) nicht mehr entladen werden. Sobald die Leerlaufspannung einer einzigen Batteriezelle (C_1, C_i, C_n) die maximale Leerlaufspannungsgrenze erreicht hat, darf die gesamte Batterie (20) nicht mehr aufgeladen werden.

[0007] Beim Entladen einer solchen Batterie (20) bestimmt diejenige Batteriezelle (C_1, C_i, C_n), die den geringsten Ladungszustand aufweist, die diesbezügliche Grenze für die gesamte Batterie (20), beim Laden einer solchen Batterie (20) ist es diejenige Batteriezelle (C_1, C_i, C_n), die den höchsten Ladungszustand aufweist. Deswegen kann die gesamte Batterie (20) hinsichtlich des Energieinhalts und der Leistungsbereitstellung nur unzureichend ausgenutzt werden.

[0008] Bei in Reihe geschalteten Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) gibt es aber keine Möglichkeit, die oben genannten Unterschiede individuell auszugleichen, da alle Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) vom gleichen Strom durchflossen werden. Um dieses unerwünschte Verhalten zu vermeiden, werden heute gemäss dem Stand der Technik Zusatzschaltungen zum Durchführen eines Ladungsausgleichs zwischen den Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) einer Batterie (20) eingesetzt, die auch als Ladungszustandsausgleichsschaltungen (Balancing-Schaltungen) bezeichnet werden.

[0009] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Ladungszustandsausgleichsschaltungen einzusetzen, die einen sogenannte «resistiven» oder «passiven» Ladungszustandsausgleich (Balancing) zwischen in Reihe geschalteten Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) einer entsprechenden Batterie (20) durchführen können. Dabei wird pro Batteriezelle (C_1, C_i, C_n) mindestens ein steuerbarer Schalter (S_1, S_i, S_n) und mindestens ein Widerstand (R_1, R_i, R_n) verwendet.

[0010] Beim Prinzip des resistiven Ladungszustandsausgleichs wird zum Beispiel, so wie es in Fig. 1 gezeigt wird, jeder Batteriezelle C_i ein steuerbarer Schalter S_i zugeordnet. Im Stromkreis zwischen jeder Batteriezelle C_i und dem dieser zugeordneten Schalter S_i sind weiterhin ohmsche Widerstände R_i eingebaut. Durch gezieltes Schliessen bestimmter Schalter S_i können die diesen jeweils zugeordneten Batteriezellen C_i über die beteiligten Widerstände R_i gezielt entladen werden. Die Schalter (S_1, S_i, S_n) werden durch eine Steuereinheit betätigt.

[0011] Nachteilig beim Durchführen eines resistiven Ladungszustandsausgleichs zwischen den Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) einer entsprechenden Batterie (20) ist, dass die Energiemenge, die den Batteriezellen (C_1, C_i, C_n) zum Ladungszustandsausgleich entnommen wird, in den Widerständen (R_1, R_i, R_n) nutzlos in Wärme umgesetzt wird. Damit wird der entsprechenden Batterie (20) elektrische Energie entzogen. Nachteilig dabei ist es auch, dass die in einer Ladungszustandsausgleichsschaltung anfallende Verlustwärme an die Umgebung abgeführt wird, wodurch sich die Temperatur dieser Ladungszustandsausgleichsschaltung gegenüber der Umgebung erhöht. Um diesen Temperaturanstieg auf zulässige

Werte zu begrenzen, müssen technische Massnahmen zur Wärmeabfuhr oder sogar zur aktiven Kühlung der verwendeten Ladungszustandsausgleichsschaltungen ergriffen werden. Dadurch steigen der entsprechende konstruktive Aufwand und die diesbezüglichen Kosten. Nachteilig dabei ist es ferner, dass die mögliche Ladungszustandsausgleichsleistung stark von der Umgebungstemperatur der Ladungszustandsausgleichsschaltungen (Balancing-Elektronik) abhängig ist. Ausserdem ist es mittels des genannten resistiven Ladungszustandsausgleichs möglich, diejenigen Batteriezellen der Batteriezellen (C1, Ci, Cn), die einen zu hohen Ladungszustand aufweisen, zu entladen, nicht aber diejenigen Batteriezellen der Batteriezellen (C1, Ci, Cn), die einen zu niedrigem Ladungszustand aufweisen, gezielt aufzuladen. Das verringert die Flexibilität der Batteriesystemführung.

[0012] Aus dem Stand der Technik sind weitere Ladungszustandsausgleichsschaltungen bekannt, die jeweils einen entsprechenden Ladungszustandsausgleich zwischen den Batteriezellen einer Batterie verlustarm durchführen können. Hier wird oft von einem «aktiven» Ladungszustandsausgleich («aktivem Balancing») gesprochen.

[0013] Bei einem aus dem Stand der Technik bekannten «aktiven» Ladungszustandsausgleich wird Energie von einer Batteriezelle eines Batteriezellstranges auf eine oder mehrere benachbarte Batteriezellen innerhalb dieses Batteriezellenstranges übertragen. Nachteilig dabei ist, dass der Energietransfer immer über mindestens eine benachbarte Batteriezelle der betroffenen Batteriezelle erfolgt. Um eine optimale Angleichung der Ladezustände zu erreichen, kann es nötig sein, die Energie- bzw. Ladungsmenge mehrmals, in mehreren nacheinander ausgeführten Schritten über mehrere benachbarten Batteriezelle der betroffenen Batteriezelle hinweg zu verschieben. Dadurch sinkt der Wirkungsgrad dieser Art des Energietransfers.

[0014] Mittels eines weiteren aus dem Stand der Technik aus Dokument EP 2 787 594 (A2) bekannten «aktiven» Ladungszustandsausgleichs ist zwar ein Energieaustausch zwischen einer beliebigen Batteriezelle und dem Batteriezellstrang möglich. Zum Durchführen eines solchen Ladungszustandsausgleichs ist aber die Verwendung einer Vielzahl von schnell taktenden Halbleiterschaltern und induktiven Übertragern notwendig, der die Realisierung eines solchen Ladungszustandsausgleichs verteuert.

[0015] Aus den Dokumenten US 2013 015 820 (A1), EP 0 828 304 (A2) und DE10 2006 002 414 (A1) ist ein Batteriezellmodul mit nicht isolierten DC/DC-Wandlern und einer Schaltmatrix bekannt, bei welcher einer beliebigen Batteriezelle eine Ladungsmenge entnommen wird, um diese in einem zusätzlich dafür vorgesehenen kapazitiven Energiespeicher zwischen zu speichern und über einen unterschiedlichen Pfad in der Schaltmatrix einer anderen Batteriezelle zuzuführen. Nachteilig dabei ist, dass ein zusätzlicher Energiespeicher notwendig ist und die Schaltmatrix aus mindestens 2 Schaltern pro Batterizeile besteht.

[0016] Aus dem Dokument EP 2 385 605 (A2) ist ein Batteriezellmodul mit mehreren in Reihe geschalteten Batteriezellen bekannt, wobei dem Batteriezellpack ein gemeinsamer induktiver Energiespeicher zugeteilt ist, welcher über eine Schaltmatrix mit den gewünschten Batterizeilen verbunden wird. Nachteilig dabei ist, dass die Verluste aufgrund der hohen Schaltfrequenz der Schalter der Schaltmatrix gross sind und eine leistungsfähige Treiberschaltung für die Schalter notwendig ist.

[0017] Aus dem Dokument US 2013 099 579 (A1) ist ein Batteriezellmodul mit mehreren in Reihe geschalteten Batteriezellen bekannt, wobei jeder Batteriezelle ein nicht isolierter DC/DC-Wandler zugeteilt ist. Nachteilig dabei ist, dass die Komplexität und Kosten aufgrund der Vielzahl schnell taktender DC/DC-Wandler hoch sind.

[0018] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die elektronische Schaltung für den Ladezustandsausgleich einfacher und effizienter zu gestalten. Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 9 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen. Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen, welche in den Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert.

[0019] Die Erfindung wird anhand mehrerer Ausführungsbeispiele, welche in den Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert:

- Fig. 1: Stand der Technik: Gesamtansicht Batteriezellmodul (10) mit Batteriezellpack (20) und passiver Balancing-schaltung (30)
- Fig. 2: Gesamtansicht Batteriezellmodul (40) mit nicht isoliertem DC/DC-Wandler (70) und einer Schaltmatrix (60)
- Fig. 3: Gesamtansicht Batteriezellmodul (40) mit 2 nicht isolierten DC/DC-Wandlern (71, 72) und einer zweifachen Schaltmatrix (60)
- Fig. 4: Gesamtansicht Batteriezellmodul (40) mit je einem Low-side (74) und High-side (73) nichtisolierten DC/DC-Wandler und einer Schaltmatrix (60)
- Fig. 5: Gesamtansicht Batteriezellmodul (40) mit nicht isoliertem DC/DC-Wandler (75) mit variabler Eingangsspannung und einer erweiterten Schaltmatrix (60)

Fig. 6: Gesamtansicht Batteriezellmodul mit nicht isoliertem DC/DC-Wandler (76) mit variabler Eingangsspannung und einer reduzierten Schaltmatrix (60)

[0020] Fig. 2 zeigt die einfachste technische Implementierung der Erfindung. Das Balancing-Prinzip basiert auf dem selektiven Laden und Entladen einer wählbaren Anzahl von in Reihe geschalteten Batteriezellen (C_1, C_i, C_n). Ein nicht isolierter DC/DC-Wandler (70) arbeitet als Ladeeinheit, wenn er als Tiefsetzsteller (Buck Converter) die Ladung vom Batteriezellpack (50) auf die ausgewählten Zellen überträgt. Im Hochsetzstellerbetrieb arbeitet der DC/DC-Wandler (70) als Entladeeinheit (Boost Converter). Die Topologie verfügt über eine Schaltmatrix (60), um die zu ladenden oder entladenden Zellen mit dem DC/DC-Wandler (70) zu verbinden. Schaltmatrix (60) und DC/DC-Wandler (70) bilden die Ladungszustandsausgleichseinheit (80). Die entsprechenden Schalter der Schaltmatrix (60) müssen den Strom in beiden Richtungen blockieren können und werden vorteilweise mit je 2 MOSFETs realisiert. Der resultierende Ausgleichsstrom pro Zelle ergibt sich durch Addition von Lade- und Entladestrom, welches dem Ausgangsstrom bzw. Eingangsstrom des DC/DC-Wandlers (70) entspricht. Der Ausgangsstrom bzw. Eingangsstrom wird im DC/DC-Wandler (70) gemessen und an die Mess- und Steuereinheit (MSU) (90) übermittelt. Batteriezellen (C_1, C_i, C_n), welche weder geladen noch entladen werden bzw. von einem Lade- und Entladestrom gleicher Grösse durchflossen werden, sind vom Ausgleichsprozess nicht betroffen.

[0021] Fig. 3 zeigt eine Erweiterung der Schaltung aus Fig. 2 mit einem 2. DC/DC-Wandler (72). Vorteilhaft ist hierbei, dass durch den Einsatz eines weiteren DC/DC-Wandlers (72) mit denselben Betriebsarten Ladung und Entladung simultan erfolgen können, was zu einer Reduktion der Ladungsausgleichsdauer führt.

[0022] Fig. 4 eine Erweiterung der Schaltung aus Fig. 2 mit einem 2. DC/DC-Wandler (73), welcher im Gegensatz zum bestehenden DC/DC-Wandler (74) als gemeinsames Potential von Ein- und Ausgang die positive Batteriezellmodulspannung verwendet. Vorteilhaft ist hierbei, dass dadurch die max. Gesamtleistung der DC/DC-Wandler (73, 74) reduziert wird und damit der Gesamtwirkungsgrad steigt und die Baugrösse abnimmt.

[0023] Fig. 5 zeigt eine Erweiterung der Schaltung aus Fig. 2 mit einer erweiterten Schaltmatrix (60). Vorteilhaft ist hierbei, dass Entladung und Ladung in einem Durchgang stattfinden und das Übertragungsverhältnis des DC-Wandlers (75) in den meisten Betriebspunkten vorteilhaft bezüglich Wirkungsgrad ausfällt. Durch den Einsatz von Sw_An wird zusätzlich zu den neuen Funktionen der gesamte Funktionsumfang der Schaltung aus Fig. 2 sichergestellt.

[0024] Fig. 6 zeigt eine Erweiterung der Schaltung aus Fig. 2 und Fig. 5 mit einer angepassten Schaltmatrix (60). Vorteilhaft ist hierbei, dass die Anzahl Schalter und damit die Komplexität reduziert wird. Abhängig von der selektierten Batteriezelle (C_1, C_i, C_n) arbeitet der DC/DC-Wandler (76) in Vor- oder Rückwärtsrichtung.

Patentansprüche

1. Batteriezellmodul (40) mit mehreren in Reihe geschalteten Batteriezellen (C_1, C_2, C_i, C_n) und Ladungszustandsausgleichseinheit (80), dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mindestens einem nicht isoliertem DC/DC-Wandler (70) zum Durchführen eines Ladungszustandsausgleiches zwischen den Batteriezellen (C_1, C_2, C_i, C_n) des Batteriezellpacks (50) und einer langsam getakteten Schaltmatrix (60, Schaltfrequenz < 1 Hz) zur Lenkung des Leistungsflusses besteht. Der DC/DC-Wandler (70) ist technisch derart ausgeführt, dass er Spannung uni- oder bidirektional wandeln kann, Spannung hoch- und tiefsetzen kann und keine elektrische Isolation zwischen Ein- und Ausgang aufweist. Durch Einsatz mindestens einer dieser Ladungszustandsausgleichseinheiten (80) und Ansteuerung mittels einer Mess- und Steuereinheit (90) wird auf einer frei wählbaren Batteriezellebene (C_i) eine entsprechende elektrische Energiemenge dem betroffenen Abschnitt des Batteriezellmoduls entnommen und auf einer zweiten, davon unterschiedlichen Zellebene, die um einen Verlustanteil reduzierte Energiemenge, dem entsprechenden Abschnitt des Batteriezellmoduls wieder zugeführt.
2. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1, wobei genau 2 nicht isolierte DC/DC-Wandler (71, 72) zum Einsatz kommen, einer davon im Tiefsetzstellerbetrieb und der andere im Hochsetzstellerbetrieb. Der Ladungszustandsausgleich erfolgt durch gleichzeitigen Betrieb der beiden DC/DC-Wandler (71, 72), welche durch die Schaltmatrix (60) mit unterschiedlichen Zellebenen (C_i) elektrisch verbunden werden. Die Ladezustandsänderung erfolgt in denjenigen Batteriezellen, welche vom Strom nur eines der beiden DC/DC-Wandler durchflossen werden.
3. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1, wobei genau 2 nicht isolierte DC/DC-Wandler (73, 74) zum Einsatz kommen, einer davon technologisch als bidirektionaler High-Side-DC/DC-Wandler (73) ausgeführt, der andere als konventioneller bidirektionaler Low-Side-DC/DC-Wandler (74) ausgeführt. Der Ladungszustandsausgleich erfolgt durch aufeinanderfolgenden Betrieb der beiden DC/DC-Wandler (73, 74).
4. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1, wobei genau 1 nicht isolierter bidirektionaler DC/DC-Wandler (75) zum Einsatz kommt. Die Schaltmatrix (60) ist derart ausgeführt, dass der Eingang des DC/DC-Wandlers (75) mit einer beliebigen Zellebene ($C_1 \dots C_n$) verbunden werden kann, während der Ausgang mit allen Zellen ausser C_n verbunden werden kann ($C_1 \dots C_{[n-1]}$).
5. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1, wobei genau 1 nicht isolierter bidirektionaler DC/DC-Wandler (76) zum Einsatz kommt. Die Schaltmatrix (60) ist derart ausgeführt, dass der Eingang des DC/DC-Wandlers (76) mit einer belie-

bigen ungeradzahigen Zellebene (C_i) und zusätzlich der obersten Zellebene (C_n) verbunden werden kann, während der Ausgang mit einer beliebigen geradzahigen Zellebene (C_i) und zusätzlich der obersten Zellebene (C_n) verbunden werden kann.

6. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 5, wobei genau 1 nicht isolierter bidirektionaler DC/DC-Wandler (76) zum Einsatz kommt. Die Schaltmatrix (60) ist derart ausgeführt, dass der Eingang des DC/DC-Wandlers (76) mit einer beliebigen geradzahigen Zellebene (C_i) und zusätzlich der obersten Zellebene (C_n) verbunden werden kann, während der Ausgang mit einer beliebigen ungeradzahigen Zellebene (C_i) und zusätzlich der obersten Zellebene (C_n) verbunden werden kann.
7. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1 bis 7, wobei statt jeweils einer Batteriezelle (C_1 , C_i , C_n) eine Mehrzahl einzelner Batteriezellen als Parallelschaltung verwendet werden.
8. Batteriezellmodul (40) nach Anspruch 1 bis 7, wobei mehrere Ladungszustandsausgleichseinheiten (80) parallel zum Einsatz kommen.
9. Verfahren zum Durchführen eines Ladezustandsausgleichs zwischen in Reihe geschalteten Batteriezellen eines Batteriezellmoduls (40), dadurch gekennzeichnet, dass in der Phase 1 des Ladezustandsausgleichs ein nicht isolierter bidirektionaler DC/DC-Wandler (70) einem vom negativen Batteriepol ausgehenden, zusammenhängenden Teil des Batteriezellmoduls (C_1 bis C_i) Ladung entnimmt und diese in das gesamte Batteriezellpack (50) einspeist. In Phase 2 des Ladezustandsausgleichs speist der DC/DC-Wandler (70) Ladung vom gesamten Batteriezellpack (50) in einen von Phase 1 unterschiedlichen, vom negativen Batteriepol ausgehenden, zusammenhängenden Teil des Batteriezellpacks (50) (C_1 bis C_j) ein. Die sich in jeder Batteriezelle zeitlich addierenden Ströme ergeben die resultierenden Ausgleichsströme.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei durch Vorhandensein von zwei nicht isolierten DC/DC-Wandlern (71, 72) Phase 1 und Phase 2 zeitgleich erfolgen.

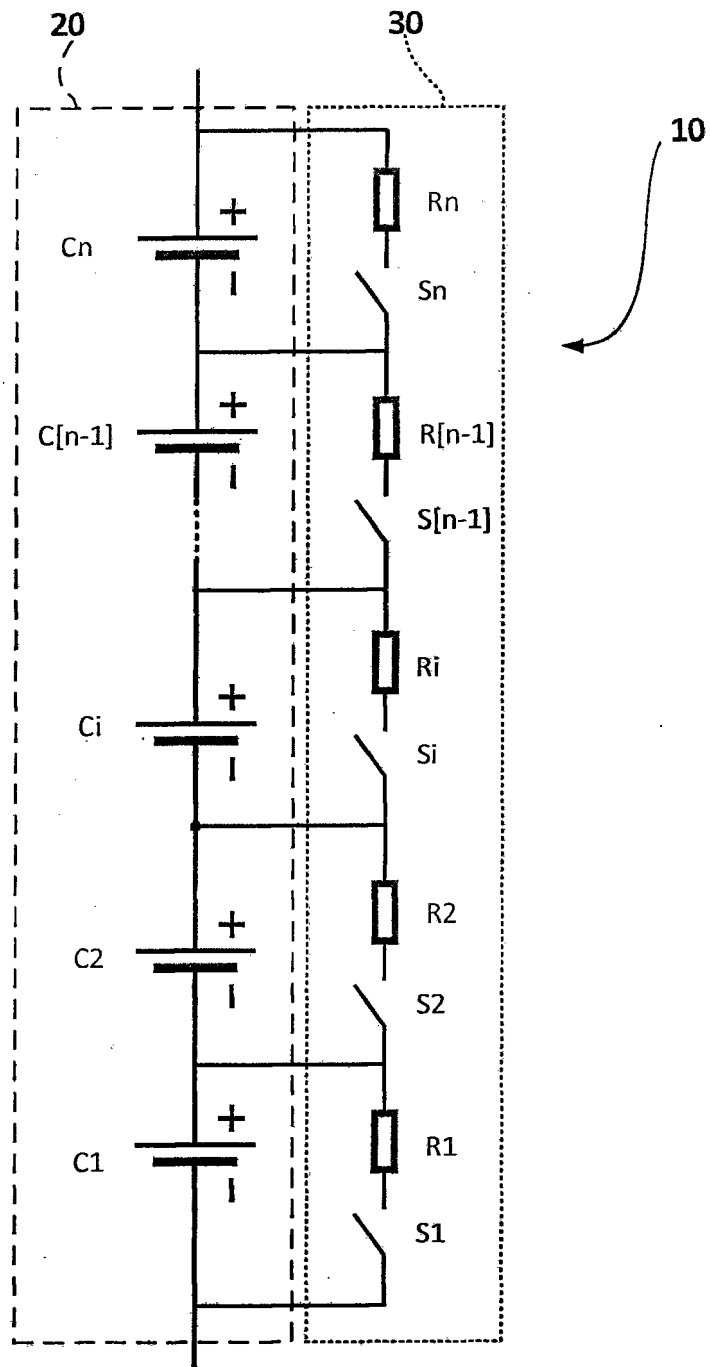


Fig. 1

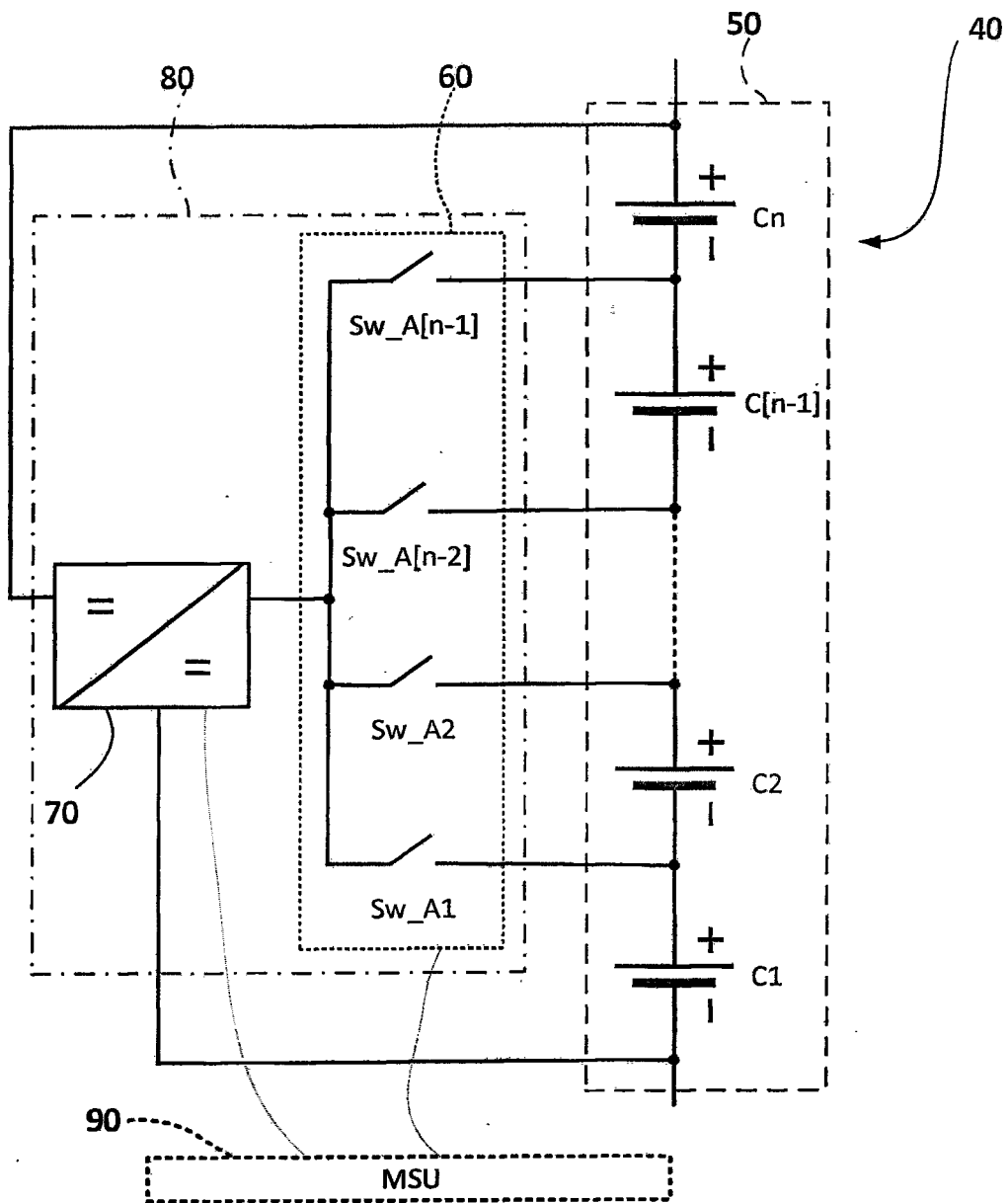


Fig. 2

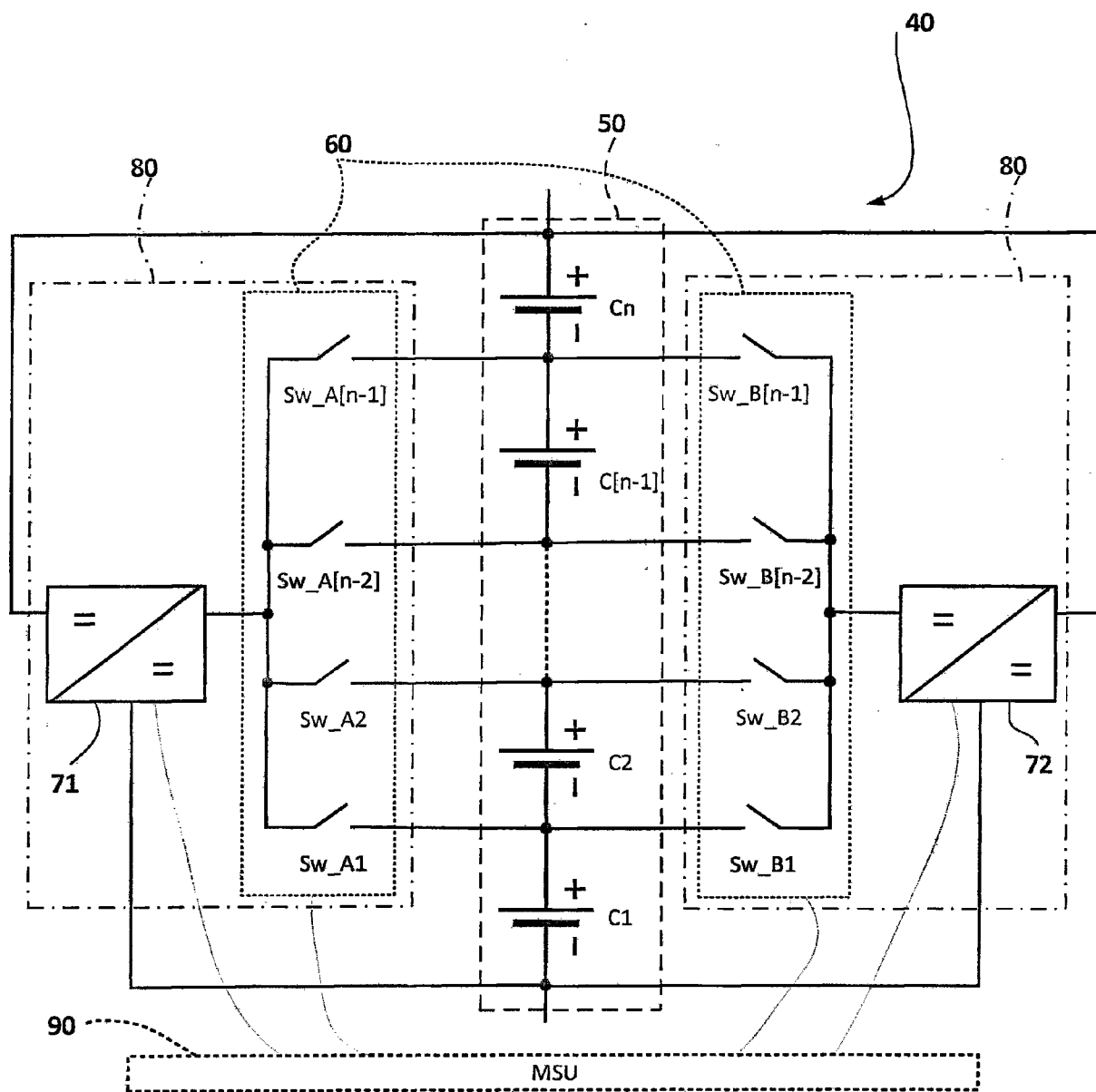


Fig. 3

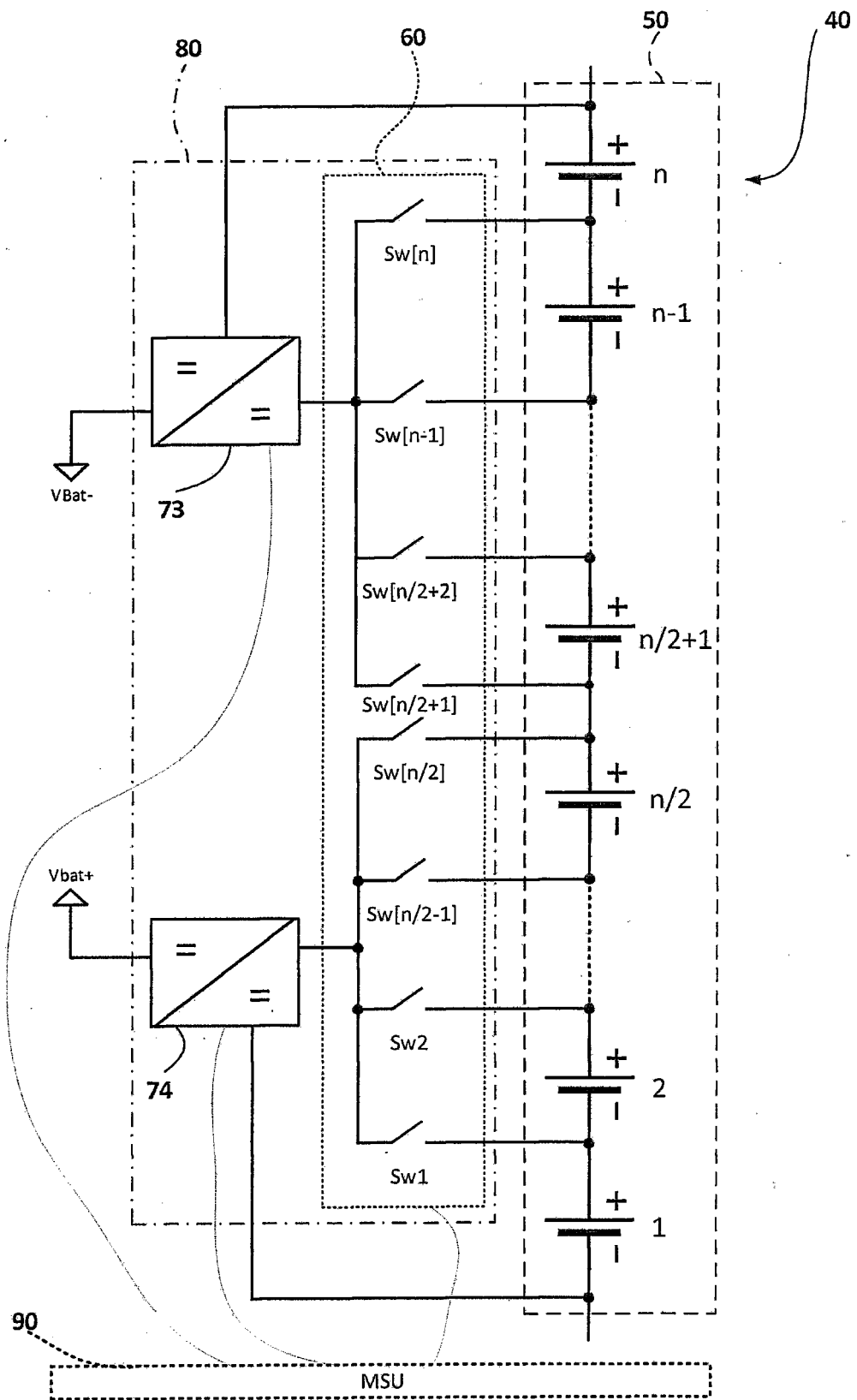


Fig. 4

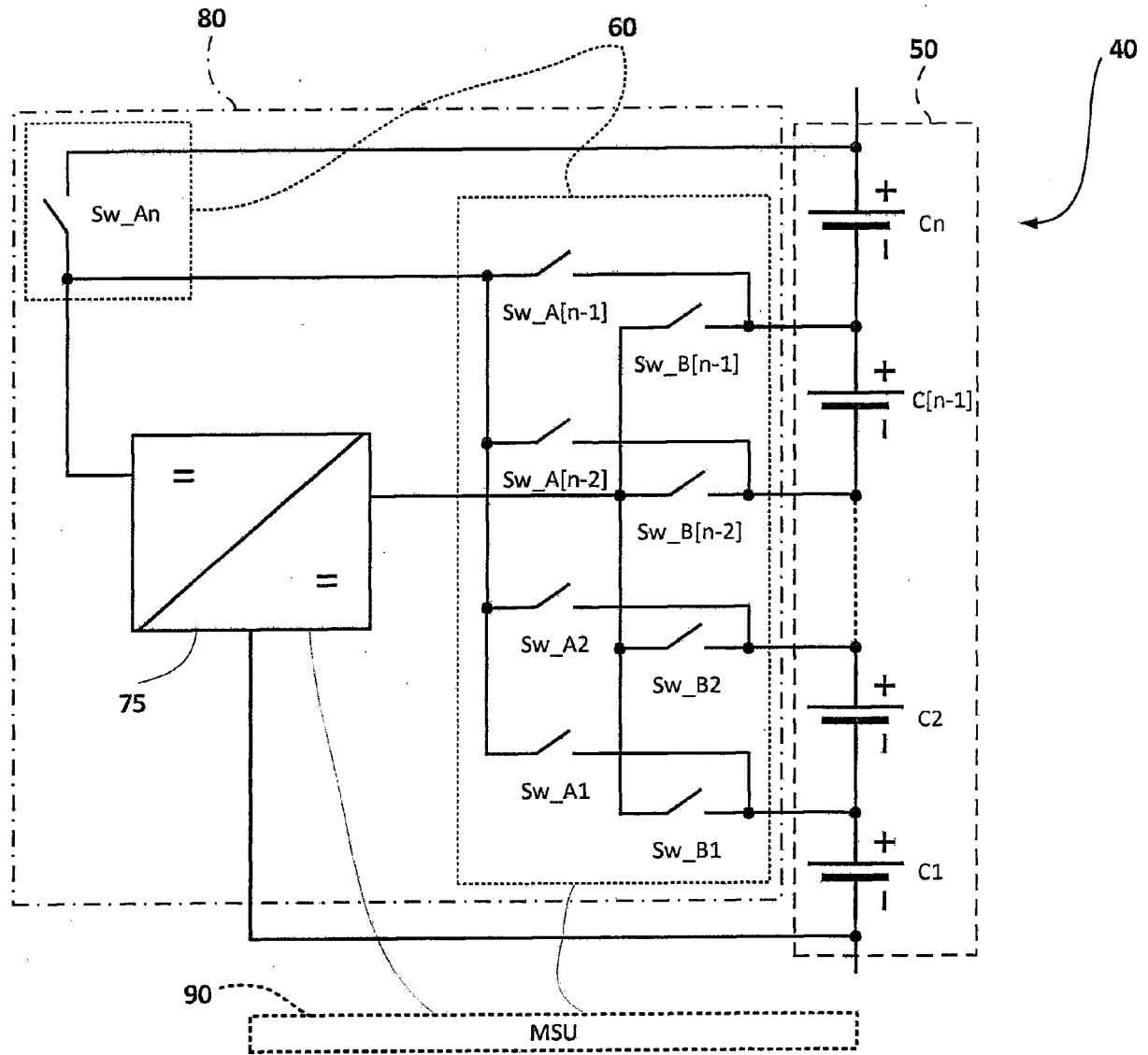


Fig. 5

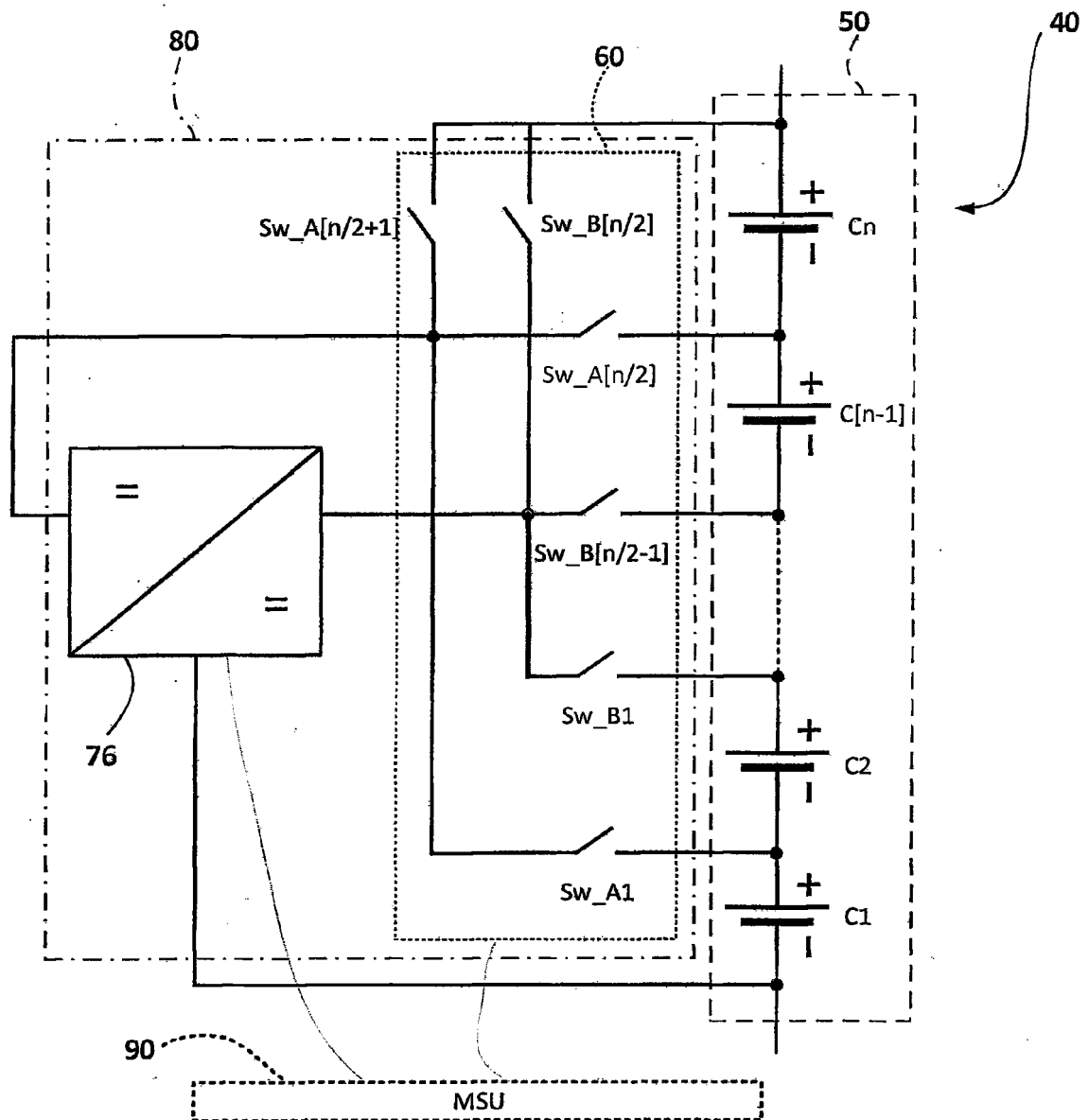


Fig. 6