

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 164/2020
(22) Anmeldetag: 24.07.2020
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2021

(51) Int. Cl.: **H02M 3/158** (2006.01)
G05F 1/56 (2006.01)

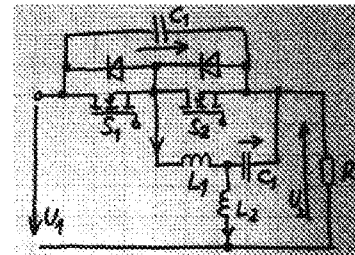
(56) Entgegenhaltungen:
CN 103516201 A
US 6252383 B1
CN 108768172 A
CN 109462333 A
CN 103312159 A
AT 399625 B

(71) Patentanmelder:
Himmelstoss Felix Dipl.Ing. Dr.
2351 Wiener Neudorf (AT)

(72) Erfinder:
Himmelstoss Felix Dipl.Ing. Dr.
2351 Wiener Neudorf (AT)

(54) **Gleichspannungswandler mit konstantem Eingangsstrom**

(57) Gleichspannungswandler mit hoch- und tiefsetzenden Verhalten mit konstantem Eingangsstrom, bestehend aus einem ersten aktiven Schalter (S_1) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, einem zweiten aktiven Schalter (S_2) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, die jeweils einen strombidirektionalen Schalter bilden, einem ersten Kondensator (C_1) und einem zweiten Kondensator (C_2), einer ersten (L_1) und einer zweiten Spule (L_2), einer ersten positiven (1) und einer zweiten negativen (2) Eingangsklemme, an denen die Eingangsspannung (U_1) angeschlossen ist und einer ersten negativen (3) und einer zweiten positiven Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen wird. Der Konverter ist besonders geeignet für Solar-, Batterie-, Brennstoffzellenanwendungen und zur Kopplung von Gleichspannungsnetzen, zum Antrieb von Gleichstrommaschinen und zur Anwendung in Gleichspannungsmikronetzen.



Zusammenfassung

Gleichspannungswandler mit hoch- und tiefsetzenden Verhalten mit konstantem Eingangsstrom, bestehend aus einem ersten aktiven Schalter (S_1) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, einem zweiten aktiven Schalter (S_2) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, die jeweils einen strombidirektionalen Schalter bilden, einem ersten (C_1) und einem zweiten Kondensator (C_2), einer ersten (L_1) und einer zweiten Spule (L_2), einer ersten positiven (1) und einer zweiten negativen (2) Eingangsklemme, an denen die Eingangsspannung (U_1) angeschlossen ist und einer ersten negativen (3) und einer zweiten positiven Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen wird. Der Konverter ist besonders geeignet für Solar-, Batterie-, Brennstoffzellenanwendungen und zur Kopplung von Gleichspannungsnetzen, zum Antrieb von Gleichstrommaschinen und zur Anwendung in Gleichspannungsmikronetzen.

(Fig. 2)

Gleichspannungswandler mit konstantem Eingangsstrom

Die Erfindung betrifft Gleichspannungswandler, bestehend aus einem aktiven Schalter (S) mit Treiberstufe, einem passiven Schalter (D), bzw. bestehend aus einem ersten aktiven Schalter (S_1) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, einem zweiten aktiven Schalter (S_2) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, die jeweils einen strombidirektionalen Schalter bilden, und einem ersten (C_1) und einem zweiten Kondensator (C_2), einer ersten (L_1) und einer zweiten Spule (L_2), einer ersten positiven (1) und einer zweiten negativen (2) Eingangsklemme, an denen die Eingangsspannung (U_1) angeschlossen ist und einer ersten negativen (3) und einer zweiten positiven Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen wird.

Der Konverter besteht in seiner Grundstruktur (Fig. 1) aus einem aktiven Schalter, hier beispielhaft in mit einem MOSFET Transistor gezeichnet, einem passiven Schalter (Diode), zwei Spulen und zwei Kondensatoren. Im Gegensatz zu anderen Hoch-Tiefsetzer Strukturen ergibt sich ein konstanter Strom am Eingang der Schaltung. Die Schaltung eignet sich daher besonders gut für Solargeneratoren, Brennstoffzellen oder Batterien als Quelle.

Für höhere Leistungen und Spannungen wird man an Stelle von MOSFETs IGBTs verwenden. Die Schaltung ist natürlich für alle anderen Schalter beruhend auf anderen Technologien geeignet.

Die Schaltung eignet sich stromgeregelt zum Laden von Batterien, Supercaps und zur Kopplung von Gleichspannungsnetzen. In der bidirektionalen Variante (Fig. 2) auch zum Umdrehen der Energieflussrichtung d.h. zur Entladung der Energiespeicher. Besonders im Bereich der DC Microgrids ergibt sich hier eine Anwendung, ebenfalls bei der Anwendung in kurzfristigen Energiespeichern. Als eine weitere Anwendung kann der Antrieb von DC Motoren angeführt werden. In der Variante 2 (Fig. 2) kann sie auch als Zweiquadrantenstellglied (fahren und bremsen in einer Richtung) verwendet werden.

Die Funktion wird im eingeschwingenen Zustand bei kontinuierlichen Betrieb und mit idealen Bauelementen erklärt. Betrachtet man das Schaltbild Fig. 1, so erkennt man, dass der Mittelwert der Spannung an C_1 gleich der Ausgangsspannung ist und dass der Mittelwert der Spannung an C_2 gleich der Summe von Eingangs- und Ausgangsspannung ist

$$U_{C1} = U_2$$

$$U_{C2} = U_1 + U_2$$

Aus der Gleichheit der Spannungszeitflächen an L_1

$$(U_1 + U_2 - U_{C1})d = | -U_{C1}|(1-d)$$

ergibt sich

$$U_{C1} = \frac{d}{1-d} U_1 = U_2 .$$

Die Spannung an der Spule L_2 ist, wenn die Kondensatoren entsprechend groß gewählt werden und daher nur geringe Schwankungen der Spannung aufweisen, praktisch null.

Der Strom durch den Kondensator C_1 setzt sich immer aus der Differenz der Spulenströme zusammen

$$i_{C1} = i_{L1} - i_{L2} .$$

Daraus folgt, dass die Mittelwerte der Ströme durch L_1 und L_2 gleich groß sein müssen

$$\bar{I}_{L1} = \bar{I}_{L2} .$$

Aus dem Ladungsgleichgewicht an C_2 ergibt sich

$$I_{LAST} d = \left(-I_{LAST} + \bar{I}_{L2} \right) (1-d)$$

$$\bar{I}_{L1} = \bar{I}_{L2} = \frac{1}{1-d} I_{LAST} .$$

Die Figuren zeigen die beiden Grundschaltungen, Fig. 1 mit einem Transistor (beispielhaft als MOSFET gezeichnet) und einer Diode, Fig. 2 mit zwei aktiven Schaltern in der bidirektionalen Ausführung bzw. mit aktiver Gleichrichtung. In Fig. 3 sind zum besseren Verständnis die Spannungs- und Stromverläufe an den Bauelementen im eingeschwungenen kontinuierlichen Betrieb bei einem Tastverhältnis von $1/3$ gezeichnet. Die Beschreibung erfolgt spaltenweise von oben nach unten und dann von links nach rechts. Die Kurvenverläufe sind entsprechend Fig. 1 beschriftet, sehen aber für Fig. 2 genauso aus, nur müsste man statt u_D u_{S2} schreiben und den Verlauf positiv zeichnen und statt i_D i_{S2} schreiben.

Ausgehend von der Eingangsspannung u_1 und den obigen Überlegungen kann man die Spannung an den Kondensatoren und am Ausgang angeben. Damit kann man die Spannung an den Spulen skizzieren. Die Spannung muss immer im Mittel null sein. Die Spannung an L_2 ist nicht nur im Mittel null, sondern immer praktisch null (im eingeschwungenen Zustand), dadurch gibt es in L_2 auch keinen Stromrippel.

Die Spannungsbelastung an den Halbleitern zeigen die beiden folgenden Bilder. Es tritt betragsmäßig immer die Summe aus Ein- und Ausgangsspannung auf.

Die zweite Spalte zeigt die Stromverläufe ausgehend von einem angenommenen Laststrom. Man zeichnet zunächst die Ströme durch die Kondensatoren und aus diesen Ladungsgleichgewichten

ergeben sich dann die Spulenströme. Nur der Strom durch L_1 hat einen ausgeprägten Stromrippel. In der dritten Spalte sind noch die Ströme durch die Halbleiter gezeichnet. Als letztes Diagramm ist der konstante Eingangsstrom abgebildet.

Es sei auch noch angemerkt, dass man die Schaltverluste auf bekannter Weise mit Entlastungsnetzwerken oder durch Nullspannungsschalten reduzieren bzw. minimieren kann.

Die Aufgabe einen Gleichspannungswandler mit hoch- und tiefsetzenden Verhalten mit konstantem Eingangsstrom zu realisieren wird erfindungsgemäß dadurch bewerkstelligt, dass der positive Anschluss des aktiven Schalters (S) an die positive Eingangsklemme (1) geschaltet ist, der negative Anschluss des aktiven Schalters (S) an die Kathode des passiven Schalters (D) und den ersten Anschluss der ersten Spule (L_1) geschaltet ist, der zweite Anschluss der ersten Spule (L_1) an den ersten Anschluss der zweiten Spule (L_2) und an den ersten Anschluss des ersten Kondensators (C_1) geschaltet ist, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L_2) an die negative Eingangsklemme (2) und die positive Ausgangsklemme (4) geschaltet ist, der zweite Anschluss des ersten Kondensators (C_1) an die negative Ausgangsklemme (3) und an die Anode des passiven Schalters (D) geschaltet ist, und dass der erste Anschluss des zweiten Kondensators (C_2) an den positiven Anschluss des aktiven Schalters (S) geschaltet ist und dass der zweite Anschluss des zweiten Kondensators (C_2) an die Anode des passiven Schalters (D) geschaltet ist, oder dass der positive Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) an die positive Eingangsklemme (1) geschaltet ist, der negative Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) an den positiven Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) und den ersten Anschluss der ersten Spule (L_1) geschaltet ist, der zweite Anschluss der ersten Spule (L_1) an den ersten Anschluss der zweiten Spule (L_2) und an den ersten Anschluss des ersten Kondensators (C_1) geschaltet ist, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L_2) an die negative Eingangsklemme (2) und die positive Ausgangsklemme (4) geschaltet ist, der zweite Anschluss des ersten Kondensators (C_1) an die negative Ausgangsklemme (3) und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) geschaltet ist, und dass der erste Anschluss des zweiten Kondensators (C_2) an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) geschaltet ist und dass der zweite Anschluss des zweiten Kondensators (C_2) an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) geschaltet ist.

Um die Auswirkung der parasitären Induktivität der Zuleitung zu vermeiden, wird man zwischen der ersten (1) und der zweiten Eingangsklemme (2) einen Kondensator (C_{IN}) schalten.

Um die parasitären Induktivitäten bei den schaltenden Elementen klein zu halten, wird die Serienschaltung des aktiven Schalters (S) und des passiven Schalters (D) oder die Serienschaltung des ersten (S_1) und des zweiten strombidirektionalen Schalters (S_2) jeweils in Form von Halbbrückenmodulen verschaltet sein.

Für die Realisierung der Kondensatoren (C_{IN} , C_1 , C_2) gilt, dass die Kondensatoren durch Elektrolytkondensatoren mit parallel liegenden Folien- oder Keramikkondensatoren oder durch Folien- oder Keramikkondensatoren realisiert sind.

Die aktiven Schalter bei der Variante nach Fig. 2 kann man auf verschiedene Weisen ansteuern, so dass bei Energieflussrichtung von den Eingangsklemmen (1, 2) zu den Ausgangsklemmen (3, 4) nur der erste aktive Schalter (S_1) getaktet wird und der zweite (S_2) gesperrt bleibt, bei Energieflussrichtung von den Ausgangsklemmen (3, 4) zu den Eingangsklemmen (1, 2) nur der zweite aktive Schalter (S_2) getaktet wird und der erste strombidirektionale Schalter (S_1) gesperrt bleibt.

Bei aktiver Gleichrichtung gilt allgemein, unabhängig von der Energieflussrichtung, dass der erste aktive Schalter (S_1) getaktet und der zweite aktive Schalter (S_2) invertiert getaktet wird.

Um die Schaltverluste klein zu halten, kann man bei der Variante nach Fig. 2 parallel zu den aktiven Schaltern (S_2 , S_1) Kondensatoren zum Erzielen des Schaltens bei null schalten. Mit diesem bekannten Konzept und entsprechender Ansteuerung kann man das sogenannte „zero voltage switching ZVS“ erzielen und so die Schaltverluste vermeiden.

Die Schaltung eignet sich für viele Anwendung wie zum Koppeln von Gleichspannungsnetzen, zum Laden und Entladen von Batterien und Superkaps, zum Antrieb von Gleichstrommaschinen und Aktuatoren.

Patentansprüche

1. Gleichspannungswandler, bestehend aus einem aktiven Schalter (S) mit Treiberstufe, einem passiven Schalter (D), einem ersten (C₁) und einem zweiten Kondensator (C₂), einer ersten (L₁) und einer zweiten Spule (L₂), einer ersten positiven (1) und einer zweiten negativen (2) Eingangsklemme, an denen die Eingangsspannung (U₁) angeschlossen ist und einer ersten negativen (3) und einer zweiten positiven Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der positive Anschluss des aktiven Schalters (S) an die positive Eingangsklemme (1) geschaltet ist, der negative Anschluss des aktiven Schalters (S) an die Kathode des passiven Schalters (D) und den ersten Anschluss der ersten Spule (L₁) geschaltet ist, der zweite Anschluss der ersten Spule (L₁) an den ersten Anschluss der zweiten Spule (L₂) und an den ersten Anschluss des ersten Kondensators (C₁) geschaltet ist, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L₂) an die negative Eingangsklemme (2) und die positive Ausgangsklemme (4) geschaltet ist, der zweite Anschluss des ersten Kondensators (C₁) an die negative Ausgangsklemme (3) und an die Anode des passiven Schalters (D) geschaltet ist, und dass der erste Anschluss des zweiten Kondensators (C₂) an den positiven Anschluss des aktiven Schalters (S) geschaltet ist und dass der zweite Anschluss des zweiten Kondensators (C₂) an die Anode des passiven Schalters (D) geschaltet ist.
2. Gleichspannungswandler, bestehend aus einem ersten aktiven Schalter (S₁) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, einem zweiten aktiven Schalter (S₂) mit Treiberstufe und antiparallel geschalteter Diode, die jeweils einen strombidirektionalen Schalter bilden, einem ersten (C₁) und einem zweiten Kondensator (C₂), einer ersten (L₁) und einer zweiten Spule (L₂), einer ersten positiven (1) und einer zweiten negativen (2) Eingangsklemme, an denen die Eingangsspannung (U₁) angeschlossen ist und einer ersten negativen (3) und einer zweiten positiven Ausgangsklemme (4), an denen die Last (R) angeschlossen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der positive Anschluss des ersten aktiven Schalters (S₁) an die positive Eingangsklemme (1) geschaltet ist, der negative Anschluss des ersten aktiven Schalters (S₁) an den positiven Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S₂) und den ersten Anschluss der ersten Spule (L₁) geschaltet ist, der zweite Anschluss der ersten Spule (L₁) an den ersten Anschluss der zweiten Spule (L₂) und an den ersten Anschluss des ersten Kondensators (C₁) geschaltet ist, der zweite Anschluss der zweiten Spule (L₂) an die negative Eingangsklemme (2) und die positive Ausgangsklemme (4) geschaltet ist, der zweite Anschluss des ersten Kondensators (C₁) an die negative Ausgangsklemme (3) und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S₂) geschaltet ist, und dass der erste Anschluss des zweiten Kondensators (C₂)

- an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) geschaltet ist und dass der zweite Anschluss des zweiten Kondensators (C_2) an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) geschaltet ist.
3. Gleichspannungswandler gemäß Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der ersten (1) und der zweiten Eingangsklemme (2) ein Kondensator (C_{IN}) geschaltet ist.
 4. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Serienschaltung des aktiven Schalters (S) und des passiven Schalters (D) oder die Serienschaltung des ersten (S_1) und des zweiten strombidirektionalen Schalters (S_2) jeweils in Form eines Halbbrückenmoduls verschaltet ist.
 5. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensatoren durch Elektrolytkondensatoren mit parallel liegenden Folien- oder Keramik Kondensatoren oder durch Folien- oder Keramik Kondensatoren realisiert sind.
 6. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Energieflussrichtung von den Eingangsklemmen (1, 2) zu den Ausgangsklemmen (3, 4) nur der erste aktive Schalter (S_1) getaktet wird und der zweite (S_2) gesperrt bleibt.
 7. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Energieflussrichtung von den Ausgangsklemmen (3, 4) zu den Eingangsklemmen (1, 2) nur der zweite aktive Schalter (S_2) getaktet wird und der erste strombidirektionale Schalter (S_1) gesperrt bleibt.
 8. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste aktive Schalter (S_1) getaktet und der zweite aktive Schalter (S_2) invertiert getaktet wird.
 9. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** parallel zu den aktiven Schaltern (S_2, S_1) Kondensatoren zum Erzielen des Schaltens bei null geschaltet sind.
 10. Gleichspannungswandler gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** er zum Koppeln von Gleichspannungsnetzen, zum Laden und Entladen von Batterien und Superkaps, zum Antrieb von Gleichstrommaschinen und Aktuatoren verwendet wird.

Figuren

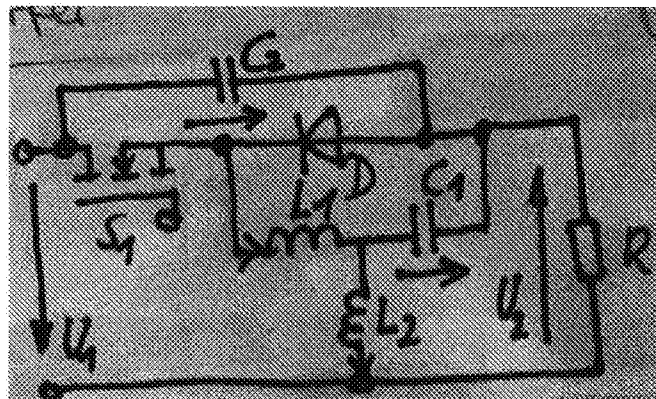


Fig. 1

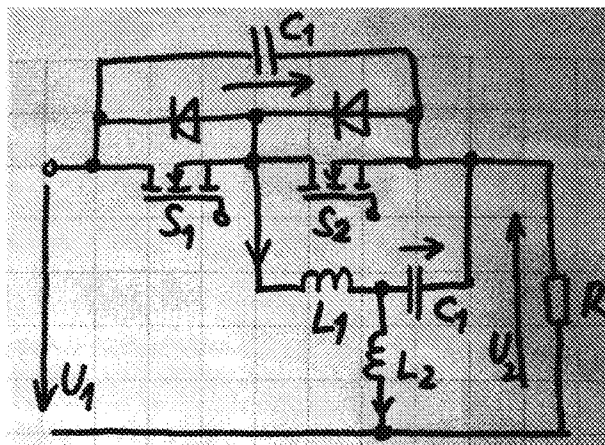


Fig. 2

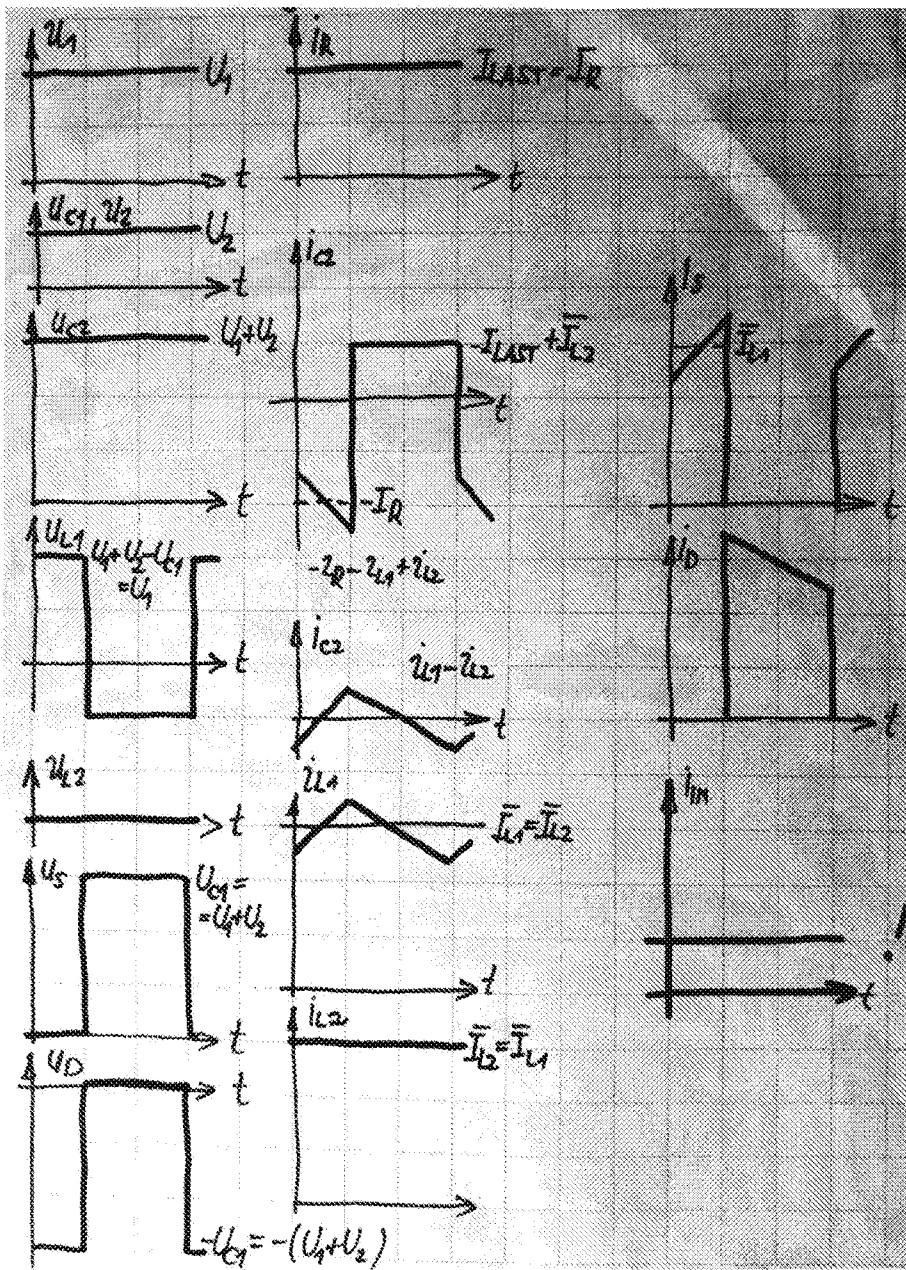


Fig. 3