



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **701 856 B1**

(51) Int. Cl.: **H02M 7/219** (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01451/09

(22) Anmeldedatum: 17.09.2009

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.03.2011

(24) Patent erteilt: 31.01.2014

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.01.2014

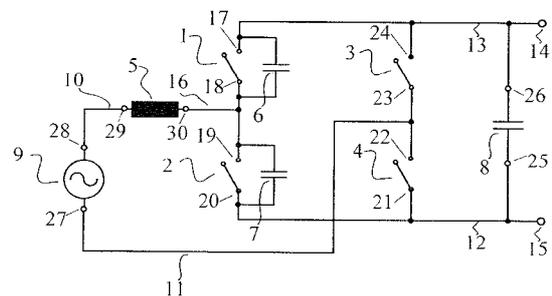
(73) Inhaber:
ETH Zürich, ETH transfer HG E 47-49 Rämistrasse 101
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)
Jürgen Biela, 8004 Zürich (CH)
Johann Miniboeck, 3752 Walkenstein (AT)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771
8032 Zürich (CH)

(54) Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung und korrespondierende Schaltung.

(57) Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung, wobei die aktive Wandlerschaltung eine Brückenschaltung mit mindestens einem ersten Brückenast aufweist, und wobei eine Induktivität (5) zwischen dem Zweigmittelpunkt und einem ersten Eingangsanschluss (28) der Wandlerschaltung geschaltet ist. Beim Umschalten zwischen den Schaltern (1, 2) des Brückenastes wird mittels der Induktivität (5) jedenfalls ein Strom zum Umladen von parasitären Kapazitäten (6, 7) der Schalter (1, 2) eingeprägt und weiters bezogen auf die Taktperiode ein definierter Eingangsstrommittelwert eingestellt. Eine Zeitdauer, während welcher jeweils einer der Schalter (1, 2) vor dem Umschalten leitend ist, ist mindestens so lang, dass die Induktivität (5) ausreichend Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten (6, 7) speichert. Durch gleichsinnige Änderung der Einschaltzeiten der Schalter (1, 2) kann weiters die Dauer der Pulsperiode verändert werden, ohne dass der Eingangsstrommittelwert beeinflusst wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der elektronischen Schaltungstechnik und insbesondere auf ein Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung und auf eine aktive Wandlerschaltung gemäss dem Oberbegriff der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] In vielen leistungselektronischen Systemen werden Gleichrichter, welche eine Wechselspannung in eine Gleichspannung umwandeln, eingesetzt. Im einfachsten Fall wird hierzu eine Schaltung bestehend aus Dioden, wie z.B. ein Brückengleichrichter, eingesetzt. Diese haben den Nachteil, dass sie relativ viele Oberschwingungen erzeugen und häufig auch einen Leistungsfaktor kleiner eins aufweisen. Um diese Nachteile zu beseitigen, werden aktive Gleichrichterschaltungen (PFC) eingesetzt, welche neben den Dioden auch aktive Schalter und zusätzliche passive Elemente, meist Induktivitäten, enthalten. Eine einfache Ausführungsform eines solchen PFC-Konverters besteht aus einem Brückengleichrichter und einem nachgeschalteten Boost-Konverter [z.B. Buch «Power Electronics: Converters, Applications And Design», von Ned Mohan, William Robbins, Tore Undeland, 3. Auflage, erschienen 2007 bei John Wiley and Sons]. Mit dieser Schaltung kann ein Leistungsfaktor von 1 sowie ein sinusförmiger Netzstrom erreicht werden.

[0003] Ein Nachteil dieser Schaltung ist, dass immer drei aktive Bauelemente, zwei Dioden des Brückengleichrichters und der Schalter des Boost-Konverters oder zwei Dioden des Brückengleichrichters und die Diode des Boost-Konverters, im Strompfad liegen. Dies führt zu relativ hohen Leitverlusten und damit zu einem niedrigen Wirkungsgrad des Konverters. Eine Möglichkeit, die Leitverluste zu senken, besteht darin, anstatt des Brückengleichrichters und dem nachgeschalteten Boost-Konverter eine integrierte Lösung zu verwenden. Diese kann z.B. aus zwei Schaltern und zwei Dioden bestehen, wobei die Elemente zu einem sogenannten Bridgeless PFC [z.B. «A Bridgeless PFC Boost Rectifier With Optimized Magnetic Utilization», von Yungtaek Jang; Jovanovic, M.M.. veröffentlicht in IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 24, Issue 1. Jan. 2009] angeordnet sind.

[0004] Die Topologie erlaubt eine deutliche Reduktion der Leitverluste. Allerdings entstehen weiterhin relativ hohe Schaltverluste. Diese bestehen zum einen aus Reverse-Recovery-Verlusten der Dioden und kapazitiven Verlusten. Die Reverse-Recovery-Verluste der Dioden können dadurch vermieden werden, dass z.B. Schottky-Dioden eingesetzt werden. Damit bleiben als einzige Schaltverluste die kapazitiven Verluste übrig, welche bei jedem Schaltvorgang entstehen, da die parasitären Kapazitäten der aktiven Bauelemente und des Aufbaus aktiv durch ein Schaltelement umgeladen werden müssen. Dadurch ist es auch nicht sinnvoll möglich, dass z.B. für einen Schalter eine grössere Anzahl an parallel geschalteten MOSFETs verwendet wird, da dadurch die parasitäre Kapazität aufgrund der Ausgangskapazität der MOSFETs und damit die Schaltverluste stark ansteigen.

[0005] Eine weitere bekannte Ausführungsform von Gleichrichtersystemen setzt einzelne parallel geschaltete Gleichrichtersysteme ein, das sogenannte Interleaving, um den Rippel im Eingangsstrom und die Grösse der benötigten Eingangsinduktivität zu reduzieren. Beim Interleaving werden Techniken zum Synchronisieren der einzelnen Stufen eingesetzt [z.B. «A Novel Closed Loop Interleaving Strategy of Multiphase Critical Mode Boost PFC Converters», von Xiaojun Xu und Alex Q. Huang, veröffentlicht auf der Power Electronics and Motion Control Conference, 2006.], wobei die Schaltfrequenzen der parallelen Stufen für jede Periode angepasst werden. Hierbei ist es wichtig, dass durch die Veränderung der lokalen Schaltfrequenz der lokale Mittelwert des Eingangsstromes nicht vom Sollwert abweicht.

Darstellung der Erfindung

[0006] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung und eine aktive Wandlerschaltung zu schaffen, welche Schaltverluste weiter verkleinert. Erfindungsgemäss geschieht dies durch ein Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung und durch eine aktive Wandlerschaltung gemäss den entsprechenden unabhängigen Patentansprüchen. Verluste, welche durch das Umladen der parasitären Kapazitäten entstehen, werden dabei durch ein geeignetes Steuerverfahren und eine geeignete Anordnung der Schalter beseitigt.

[0007] Zusammengefasst wird in dem Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung, wobei die aktive Wandlerschaltung eine Brückenschaltung mit mindestens einem ersten Brückenast aufweist, wobei eine Induktivität zwischen den Zweigmittelpunkt und einen ersten Eingangsanschluss der Wandlerschaltung geschaltet ist, beim Umschalten zwischen den Schaltern des Brückenastes mittels der Induktivität ein Strom zum Umladen von parasitären Kapazitäten der Schalter und des Aufbaus eingepreßt. Eine Zeitdauer, während welcher jeweils einer der Schalter vor dem Umschalten leitend ist, ist mindestens so lang, dass die Induktivität ausreichend Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten speichert.

[0008] Ausführlicher gesagt: In dem Verfahren wird eine aktive Wandlerschaltung angesteuert, wobei die aktive Wandlerschaltung eine Brückenschaltung mit mindestens einem ersten Brückenast aufweist, wobei ein oberer Schalter des ersten Brückenastes zwischen einen positiven Anschluss und einen Zweigmittelpunkt geschaltet ist, und ein unterer Schalter des ersten Brückenastes zwischen einen negativen Anschluss und den Zweigmittelpunkt geschaltet ist, und eine Induktivität zwischen den Zweigmittelpunkt und einen ersten Eingangsanschluss geschaltet ist, und ein zweiter Eingangsanschluss an den positiven oder den negativen Anschluss oder an einen geschalteten weiteren Anschluss der Wandler-

schaltung geschaltet ist, wobei der obere Schalter eine erste parasitäre Kapazität und der untere Schalter eine zweite parasitäre Kapazität aufweist.

[0009] Das Verfahren umfasst, dass, mit einer Periodendauer T_P periodisch wiederholt,
 – durch Einschalten eines zweiten der beiden Schalter des Brückenzeiges, wobei der andere respektive erste Schalter ausgeschaltet ist, während einer ersten Zeitdauer T_1 ein Strom durch die Induktivität aufgebaut wird,
 – anschliessend der zweite Schalter ausgeschaltet wird, wobei der erste Schalter ausgeschaltet bleibt und die parasitären Kapazitäten durch einen mittels der Induktivität eingepprägten Strom umgeladen werden, bis die Spannung über dem ersten Schalter mindestens annähernd null wird,
 – wobei die erste Zeitdauer T_1 mindestens so lange gewählt wird, dass die in der Induktivität gespeicherte Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten ausreicht,
 – und wobei anschliessend der erste Schalter eingeschaltet wird und sich der Strom durch die Induktivität abbaut und nach einem Nulldurchgang des Stroms sich während einer zweiten Zeitdauer T_2 ein Strom in Gegenrichtung durch die Induktivität aufbaut,
 – der erste Schalter ausgeschaltet wird, wobei der zweite Schalter ausgeschaltet bleibt und die parasitären Kapazitäten durch den mittels der Induktivität eingepprägten Strom in Gegenrichtung umgeladen werden, bis die Spannung über dem zweiten Schalter mindestens annähernd null wird,
 wobei die zweite Zeitdauer T_2 mindestens so lange gewählt wird, dass die in der Induktivität gespeicherte Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten ausreicht.
 – die Zeiten T_1 und T_2 so gewählt werden, dass der Mittelwert des Stromes in der Induktivität einem vorgegebenen Sollwert entspricht.
 – Für das Umladen der Kapazitäten werden gewisse Mindestenergien benötigt, was sich dadurch ausdrückt, dass es – abhängig vom jeweiligen Arbeitspunkt – für T_1 und T_2 einen Mindestwert gibt.

[0010] Durch dieses Verfahren können die Schaltverluste in dem ersten Brückenzeig deutlich reduziert, im Idealfall sogar vollständig eliminiert, werden. Dadurch beseitigt das Verfahren die Schaltverluste, welche durch die parasitären Kapazitäten der Schalter (z.B. MOSFETs) entstehen, und es ermöglicht damit, dass für die Realisierung eines Schalters mehrere parallel geschalteter Halbleiterbauelemente (z.B. MOSFETs) verwendet werden. Dadurch können die Leitverluste deutlich reduziert werden, was wiederum zu einer Steigerung der Effizienz führt. Ohne das beschriebene Verfahren hätten die Schaltverluste durch die inhärenten parasitären Kapazitäten der Halbleiterbauelemente, den Gewinn bei den Leitverlusten reduziert oder sogar kompensiert. Mit der höheren Effizienz der Schaltung sinken die Verluste und damit auch der benötigte Kühlaufwand, so dass sich kompakte Aufbauten bei hohem Wirkungsgrad realisieren lassen.

[0011] Die Wandlerschaltung ist typischerweise eine AC-DC-Wandlerschaltung, die bidirektional betrieben werden kann, also mit wählbarer Richtung des Leistungsflusses. In einzelnen bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung kann die Wandlerschaltung aber auch als DC-DC-Wandler oder als unidirektionaler AC-DC-Wandler betrieben werden.

[0012] Die Wandlerschaltung weist vorzugsweise eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Schalter der Wandlerschaltung auf, welche zur Ausführung des Verfahrens gemäss den vorgenannten Schritten und/oder den im Folgenden beschriebenen weiteren Varianten ausgebildet ist.

[0013] In einer bevorzugten Variante der Erfindung werden die erste und/oder die zweite Zeitdauer verlängert, wobei die Periode T_P mit dem Verfahren durch Vergrössern von T_1 und T_2 verlängert werden kann, ohne dass der Mittelwert des Eingangsstromes sich ändert, d.h. dass dieser immer noch gleich dem Sollwert ist. Um die Periode T_P zu verlängern, werden, abhängig vom Arbeitspunkt, T_1 und T_2 gemeinsam mit Hilfe eines nichtlinearen Zusammenhangs vergrössert, so dass der Mittelwert des Stromes gleich dem Sollwert ist und so dass die parasitären Kapazitäten umgeladen werden und die Schalter bei annähernd null Spannung eingeschaltet werden. Durch gleichsinnige Änderung der Einschaltzeiten der Schalter kann also die Dauer der Pulsperiode verändert werden, ohne dass der Eingangsstrommittelwert beeinflusst wird.

[0014] Dadurch dass mit dem Verfahren die Dauer einer Periode T_P verändert werden kann, ohne dass der Mittelwert des Stromes und das Umschwingen der Kapazitäten für verlustloses/verlustarmes Schalten beeinflusst werden, können nun parallel geschaltete Brückenzeige (Interleaving) bei verlustlosem Schalten so synchronisiert werden, dass durch die Überlagerung der Ströme am Eingang ein minimaler Rippel entsteht und die einzelnen Zweige unbeeinflusst dem Sollwert des Strommittelwertes folgen.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Variante der Erfindung weist die Wandlerschaltung mindestens einen zweiten Brückenzeig auf, dessen Zweigmittelpunkt über eine zweite Induktivität an den ersten Eingangsanschluss geschaltet ist und der mindestens eine zweite Brückenzeig in derselben Weise wie der erste Brückenzeig angesteuert wird, wobei die Ströme durch die erste und die zweite Induktivität zeitlich gegeneinander versetzt zur Minimierung eines Summenstromrippels am ersten Eingangsanschluss erzeugt werden.

[0016] Durch den geringeren Summenstromrippel sinkt der Aufwand bei der EMV-Filterung am Eingang, um die einschlägigen Normen zu erfüllen, so dass zum einen das Bauvolumen sinkt und zum anderen geringere Verluste in dem Filter entstehen. Weiterhin können die Eingangsinduktivitäten relativ kleine Induktivitätswerte aufweisen, so dass diese ein kleines Bauvolumen aufweisen und mit geringen Verlusten realisiert werden können.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Variante der Erfindung ist der geschaltete weitere Anschluss der Wandlerschaltung ein Zweigmittelpunkt eines weiteren, langsam geschalteten Brückenzeiges und sind der erste Eingangsanschluss und der zweite Eingangsanschluss an eine Wechselspannung geschaltet, wobei der langsam geschaltete Brückenzeig mit derselben Frequenz schaltet, mit welcher die Wechselspannung das Vorzeichen wechselt.

[0018] Durch die niedrige Schaltfrequenz des gemeinsamen Brückenzeiges werden die Schaltverluste in diesem Brückenzeig vernachlässigbar und der Brückenzeig kann hinsichtlich der Leitverluste optimiert werden, so dass die Effizienz des Systems steigt. Weiterhin erlaubt der langsam geschaltete Brückenzeig eine kostengünstige Realisierung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0019] In Fig. 1 ist eine Ausführungsform der Topologie eines bidirektionalen Gleichrichters dargestellt, welche einen oberen 1, einen unteren 2, einen dritten 3 und einen vierten 4 bidirektional leitenden Schalter, eine Induktivität 5, einen Ausgangskondensator 8 und eine Wechselspannungsquelle 9 aufweist. Weiterhin habe das erste Schaltelement eine erste 6 und das zweite Schaltelement eine zweite 7 parasitäre Kapazität, welche so angeordnet ist, dass diese die beiden geschalteten Kontakte überbrückt.

[0020] Der obere Schalter 1 ist an einem ersten Anschluss 17 über eine erste Leitung 13 mit einem ersten Anschluss 26 eines Ausgangskondensators 8 und an einem zweiten Anschluss 18 über eine zweite Leitung 16 mit einem ersten Anschluss 30 der Induktivität 5 und mit einem ersten Anschluss 19 des unteren Schalters 2 verbunden. Ein zweiter 20 Anschluss des unteren Schalters 2 ist über eine dritte Leitung 12 mit einem zweiten Anschluss 25 des Ausgangskondensators 8 verbunden. Ein zweiter Anschluss 29 der Induktivität 5 ist über eine vierte Leitung 10 mit einem ersten Anschluss 28 der Wechselspannungsquelle 9 verbunden. Ein erster Anschluss 24 des dritten Schalters 3 ist ebenfalls über die erste Leitung 13 mit dem ersten Anschluss 26 des Ausgangskondensators 8 verbunden. Ein zweiter Anschluss 27 der Wechselspannungsquelle 9 ist über eine vierte Leitung 11 mit einem zweiten Anschluss 23 des dritten Schalters 3 und mit einem ersten Anschluss 22 des vierten Schalters 4 verbunden. Ein zweiter Anschluss 21 des vierten Schalters ist ebenfalls über die zweite Leitung 12 mit dem zweiten Anschluss 25 des Ausgangskondensators 8 verbunden. An die erste Leitung 13 ist ein positiver Anschluss 14 und an die dritte Leitung 12 ein negativer Anschluss 15 einer Last oder allgemein einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Die vier Schalter 1, 2, 3, 4 bilden also eine Brückenschaltung mit Gleichspannungsanschlüssen und Wechselspannungsanschlüssen.

[0021] Zur Beschreibung der Steuerung der vier Schalter 1–4 wird die dritte Leitung 12 als Bezugspotential gewählt und es wird angenommen, dass der erste Anschluss 28 der Wechselspannungsquelle ein positives Potential gegenüber dem zweiten Anschluss 27 hat.

[0022] Der erste Brückenzeig, aufweisend den oberen Schalter 1 und den unteren Schalter 2, schaltet mit einer Frequenz oberhalb der Grundperiode der Wechselspannungsquelle 9, und der zweite Brückenzeig, aufweisend den dritten 3 und den vierten 4 Schalter, schaltet mit der Frequenz, mit welcher die Wechselspannungsquelle 9 das Vorzeichen wechselt. Dabei ist in einem Brückenzeig jeweils entweder kein Schalter oder genau ein Schalter geschlossen, nie jedoch beide Schalter auf einmal. In dem betrachteten Fall ist der vierte Schalter 4 die gesamte Zeit, solange der erste Anschluss 28 der Wechselspannungsquelle positives Potential gegenüber dem zweiten Anschluss 27 der Wechselspannungsquelle hat, geschlossen, d.h. der erste 22 und der zweite 21 Anschluss des vierten Schalters 4 sind elektrisch miteinander verbunden und der dritte Schalter ist geöffnet, d.h. der erste 24 und der zweite 23 Anschluss des dritten Schalters 4 sind elektrisch nicht miteinander verbunden. Der Ausgangskondensator 8 ist auf die Ausgangsspannung U_{DC} aufgeladen, wobei der erste Anschluss 26 ein positives Potential gegenüber dem zweiten Anschluss 25 des Kondensators hat und die Spannung U_{DC} grösser ist als die Amplitude der Wechselspannung der Wechselspannungsquelle 9.

[0023] In Fig. 2 ist der Verlauf des Stromes I_{L5} in der Induktivität 5 in Richtung vom zweiten Anschluss 29 zum ersten Anschluss 30 der Induktivität und der Verlauf der Spannung U_{S2} über dem unteren Schalter 2 mit Bezugsrichtung vom ersten Anschluss 19 zum zweiten Anschluss 20 des unteren Schalters 2 dargestellt, wobei die beiden horizontalen Achsen die Zeitachsen darstellen und die vertikalen Achsen die Amplitudenwerte angeben. Zu Beginn der Taktperiode t_0 wird der untere Schalter 2 geschlossen, d.h. die positive Spannung der Wechselspannungsquelle 9 fällt über der Induktivität 5 ab und der Strom in der Induktivität 5 beginnt zu steigen. Bei Erreichen eines vorgegebenen Stromwertes I_1 bzw. nach einer festen Zeit T_1 wird der untere Schalter 2 geöffnet und der Strom, welcher durch die Induktivität 5 eingepreßt wird, lädt die zweite parasitäre Kapazität 7 auf und entlädt die erste parasitäre Kapazität 6, so dass die Spannung über dem unteren Schalter 2 zu steigen beginnt. Sobald die Spannung über dem unteren Schalter 2 gleich der Ausgangsspannung U_{DC} ist, d.h. die Spannung über dem oberen Schalter 1 ist gleich null, wird der obere Schalter 1 eingeschaltet. Dabei ist der Stromwert I_1 so zu wählen, dass die gespeicherte Energie in Induktivität 5 ausreicht, um den ersten 6 und die zweite 7 parasitäre Kapazität umzuladen, d.h. dass die Spannung über dem oberen Schalter 1 zumindest annähernd null wird. Mit der sich einstellenden negativen Spannung an der Induktivität 5, d.h. der erste Anschluss 30 der Induktivität hat ein höheres Potential als der zweite Anschluss 29, nimmt der Strom in der Induktivität ab. Ab dem Zeitpunkt t_3 wird der Strom in der Induktivität 5 negativ und die Zeitdauer T_2 beginnt. Sobald der Strom einen gewissen Wert I_2 erreicht, bzw. nach Ablauf der Zeit T_2 , wird der obere Schalter 1 zum Zeitpunkt t_4 geöffnet und der Strom in der Induktivität 5 entlädt die erste 6 und lädt die zweite 7 parasitäre Kapazität. Dabei wird vorzugsweise die Zeitdauer T_2 so gewählt, dass durch das Entladen der ersten 6 und der zweiten 7 parasitären Kapazität die Spannung über dem unteren Schalter 2 null wird, so dass

der untere Schalter 2 zum Zeitpunkt t_5 spannungslos einschalten kann. Mit der positiven Spannung über der Induktivität 5 nimmt der Strom wieder zu und erreicht zum Zeitpunkt t_6 den Wert null. Die Periode T_P des beschriebenen Zyklus dauert dabei vom Zeitpunkt t_0 bis zum Zeitpunkt t_6 .

[0024] Im Falle einer negativen Spannung der Wechselspannungsquelle 9, d.h. das Potential des ersten Anschlusses 28 der Wechselspannungsquelle 9 ist negativ in Bezug auf den zweiten Schluss 27, ist der dritte Schalter 3 geschlossen und der vierte Schalter 4 geöffnet, und der obere Schalter 1 und der untere Schalter 2 vertauschen in der vorangegangenen Beschreibung der Funktionsweise ihre Rolle. Weiterhin invertiert sich der Strom in der Induktivität 5.

[0025] Eine Eigenschaft des Steuerverfahrens ist dabei, dass zum einen der obere Schalter 1 und der untere Schalter 2 spannungslos ein- und ausschalten und dass in der Periode T_P der Strom in der Induktivität 5 einen vorgegebenen Mittelwert einhält. Für das spannungslose Einschalten des unteren Schalters 2 zum Zeitpunkt t_2 muss die Periode T_1 eine gewisse Mindestdauer haben, welche vom Verhältnis der Ausgangsspannung U_{DC} zur Spannung der Wechselspannungsquelle 9 abhängt. Für das spannungslose Einschalten des oberen Schalters 1 zum Zeitpunkt t_5 muss die Periode T_2 eine gewisse Mindestdauer haben, welche vom Verhältnis der Ausgangsspannung U_{DC} zur Spannung der Wechselspannungsquelle 9 abhängt. In Fig. 7 ist beispielhaft der Verlauf der Mindestwerte T_{1min} für T_1 und T_{2min} für T_2 für eine halbe Periode einer sinusförmigen Wechselspannung der Wechselspannungsquelle 9 dargestellt. Mit den Mindestdauern für T_1 und T_2 ergibt sich eine minimale Dauer für T_P , welche vom Verhältnis der Ausgangsspannung U_{DC} zur Spannung der Wechselspannungsquelle 9 und den Bauteilwerten abhängt. Diese Mindestdauer für T_P ergibt sich als Summe der Mindestdauern von T_1 und T_2 . Nun ist es möglich, die Perioden T_1 und T_2 grösser als die Mindestdauern zu wählen und damit die Periode T_P zu verlängern. Dies kann zum einen genutzt werden, um den Mittelwert des Stromes durch die Induktivität 5 einzustellen, so dass dieser einer Sollgrösse, z.B. einer Sinusform bei einem Gleichrichter, folgt, oder es ist möglich, die Länge der Periode T_P zu verändern, ohne dass der Mittelwert I_{MW} des Stromes durch die Induktivität 5 verändert wird. Dies kann für die Synchronisation von parallel geschalteten Zweigen genutzt werden, wie im folgenden Abschnitt erläutert wird. In Fig. 8 ist für einen angenommenen Betriebspunkt beispielhaft die Abhängigkeit der beiden Zeiten T_1 und T_2 von der Periode T_P für einen konstanten Strommittelwert dargestellt.

[0026] Weiterhin kann bei einem festen Mittelwert des Stromes durch die Induktivität 5 und bei spannungslosem Schalten des oberen Schalters 1 und des unteren Schalters 2 die Periodendauer T_P durch Vergrössern von T_1 und T_2 verlängert werden. Dies kann mit einem Aufbau nach Fig. 3 geschehen. Darin liegt zusätzlich zur den bereits beschriebenen Schaltungselementen ein weiterer schnell schaltender Zweig vor, mit einem fünften 36 und einem sechsten Schalter 40, mit zugeordneten weiteren parasitären Kapazitäten 38, 42, zur Verbindung der Gleichspannungsanschlüsse mit einem Brückenmittelpunkt, welcher über eine zweite Induktivität 33 an die Wechselspannungsquelle 9 angeschlossen ist. Dabei werden die Ströme in der ersten Induktivität 5 und der zweiten Induktivität 33 über die beiden schnell schaltenden Zweige synchronisiert geschaltet. Durch das Synchronisieren der Ströme kann nach bekannter Art der Stromrippel in der Wechselspannungsquelle verkleinert werden. Neuartig hierbei ist, dass die beiden schnell schaltenden Zweige einen gemeinsamen langsamen Zweig bestehend aus dem dritten 3 und dem vierten 4 Schalter als Rückleiter haben.

[0027] In Fig. 4 ist eine weitere Aufbauform der Schaltung dargestellt, in welcher sich antiparallel bei einem oder mehreren Schaltern eine Diode, als Teil des Schalters, befindet. Dabei sind die Kathode einer antiparallelen Diode 43 des oberen Schalters 1 und die Kathode einer antiparallelen Diode 45 des dritten Schalters 3 an der ersten Leitung 1, welche mit dem ersten, positiven Anschluss 26 des Ausgangskondensators 8 verbunden ist, angeschlossen. Die Anode einer antiparallelen Diode 44 des unteren Schalters 2 und einer antiparallelen Diode 46 des vierten Schalters 4 sind mit der dritten Leitung 12 verbunden, welche an dem negativen, zweiten Anschluss 25 des Ausgangskondensators 8 angeschlossen ist. Mit den antiparallelen Dioden wird erreicht, dass die Schalter nicht geschlossen sind, wenn der Strom durch den Schalter in Richtung vom jeweiligen zweiten Anschluss 18, 20, 21, 23 zum jeweiligen ersten Anschluss 17, 19, 22, 24 fliesst. Die Funktionsweise der Steuerung ändert sich dadurch nicht.

[0028] Anstatt der Wechselspannungsquelle 9 kann auch eine DC-Spannungsquelle 47, wie in Fig. 5 dargestellt ist, verwendet werden. Dabei können der dritte 3 und der vierte 4 Schalter entfallen und ein negativer Anschluss 49 der DC-Spannungsquelle 47 wird mit der dritten Leitung 12, d.h. dem negativen Anschluss 15 der Last, verbunden. Die Amplitude der DC-Spannungsquelle 47 muss dabei wiederum kleiner sein als die Spannung des Ausgangskondensators 8. Die Funktionsweise der Steuerung ist prinzipiell genauso, wie wenn die Wechselspannungsquelle 9 eine positive Spannung hat.

[0029] Neben dem Betrieb der Schaltung nach Fig. 1 als Gleichrichter kann die Schaltung auch als Wechselrichter eingesetzt werden, d.h. der mittlere Leistungsfluss findet vom Ausgangskondensator 8 zur Wechselspannungsquelle 9 oder zur DC-Spannungsquelle 47 statt. Dazu muss bei einer positiven Spannung der Wechselspannungsquelle 9 ein negativer Mittelwert des Stromes durch die Induktivität 5 eingepreßt werden, d.h. der Strom muss im Mittel von dem ersten Anschluss 30 der Induktivität zum zweiten Anschluss 29 fließen. Dies kann leicht durch Vertauschen der Funktionen des oberen Schalters 1 und des unteren Schalters 2 erreicht werden. Dies bedeutet, dass zu Beginn der Periode T_P zuerst der obere Schalter 1 geschlossen wird und in der Induktivität 5 ein negativer Strom aufgebaut wird. Am Ende der Periode T_2 wird der obere Schalter 1 geöffnet und der Strom in der Induktivität 5 lädt die erste 6 und die zweite 7 parasitäre Kapazität um, so dass die Spannung über dem unteren Schalter 2 kleiner wird. Sobald die Spannung über dem unteren Schalter 2 zum Zeitpunkt t_2 gleich null wird, wird der untere Schalter 2 eingeschaltet. Nun baut sich der Strom in der Induktivität 5 ab und wird zum Zeitpunkt t_3 gleich null. Anschliessend steigt der Strom in der Induktivität 5 während der Periode T_2 wieder an und zum Zeitpunkt t_4 wird der untere Schalter 2 geöffnet, so dass der Strom in der Induktivität 5 wiederum die erste 6 und die

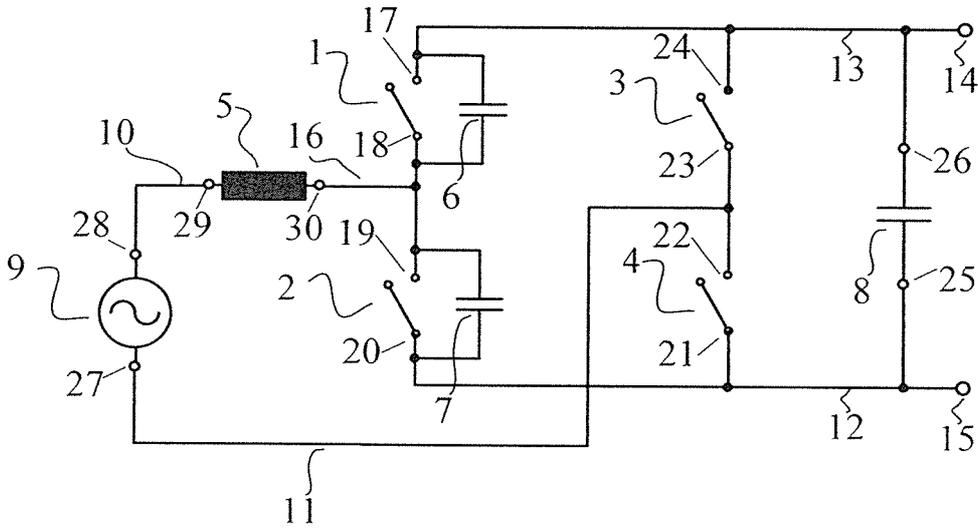
zweite 7 parasitäre Kapazität umlädt. Sobald die Spannung über dem oberen Schalter 1 gleich null ist, wieder dieser zum Zeitpunkt t_5 geschlossen. Die Periode T_P endet wiederum zum Zeitpunkt t_6 . Mit dem beschriebenen Steuerverfahren ist es wiederum möglich, ein Schalten des oberen Schalters 1 und unteren Schalters 2 bei null Spannung und ein Einstellen des Mittelwertes I_{MW} des Stromes in der Induktivität 5 und damit des Leistungsflusses zu erreichen.

[0030] Eine Ausführungsform der Schalter besteht dabei vorzugsweise aus MOSFETs, kann jedoch auch mit JFETs, IGBTs oder anderen abschaltbaren Halbleitern realisiert werden.

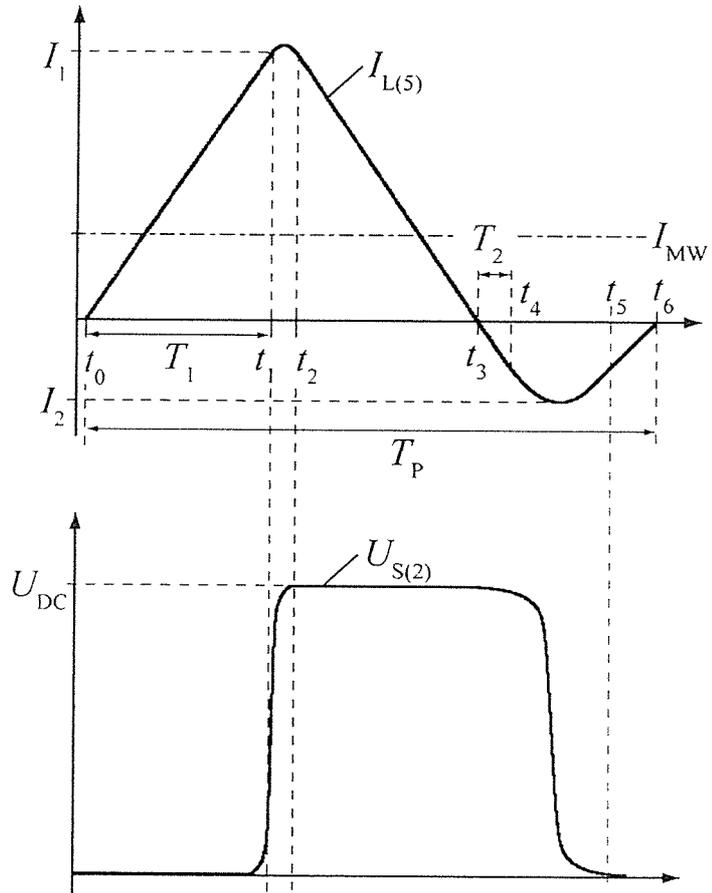
Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern einer aktiven Wandlerschaltung, wobei die aktive Wandlerschaltung eine Brückenschaltung mit mindestens einem ersten Brückenzeig aufweist, wobei ein oberer Schalter (1) des ersten Brückenzeigs zwischen einen positiven Anschluss (14) und einen Zweigmittelpunkt geschaltet ist, und ein unterer Schalter (2) des ersten Brückenzeigs zwischen einen negativen Anschluss (15) und den Zweigmittelpunkt geschaltet ist, und eine Induktivität (5) zwischen den Zweigmittelpunkt und einem ersten Eingangsanschluss (28, 48) geschaltet ist, und ein zweiter Eingangsanschluss (27, 49) an den positiven oder den negativen Anschluss (14, 15) oder an einen geschalteten weiteren Anschluss der Wandlerschaltung geschaltet ist, wobei der obere Schalter (1) eine erste parasitäre Kapazität (6) und der untere Schalter (2) eine zweite parasitäre Kapazität (7) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Verfahren, mit einer Periodendauer T_P periodisch wiederholt
 - durch Einschalten eines zweiten der beiden Schalter des Brückenzeiges, wobei der andere respektive erste Schalter ausgeschaltet ist, während einer ersten Zeitdauer T_1 ein Strom durch die Induktivität (5) aufgebaut wird,
 - anschliessend der zweite Schalter ausgeschaltet wird, wobei der erste Schalter ausgeschaltet bleibt, und die parasitären Kapazitäten (6, 7) durch einen mittels der Induktivität (5) eingepprägten Strom umgeladen werden, bis die Spannung über dem ersten Schalter mindestens annähernd null wird,
 - wobei die erste Zeitdauer T_1 mindestens so lange gewählt wird, dass die in der Induktivität gespeicherte Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten (6, 7) ausreicht,
 - und wobei anschliessend der erste Schalter eingeschaltet wird und sich der Strom durch die Induktivität (5) abbaut, und nach einem Nulldurchgang des Stroms sich während einer zweiten Zeitdauer T_2 ein Strom in Gegenrichtung durch die Induktivität (5) aufbaut,
 - der erste Schalter ausgeschaltet wird, wobei der zweite Schalter ausgeschaltet bleibt und die parasitären Kapazitäten (6, 7) durch den mittels der Induktivität (5) eingepprägten Strom in Gegenrichtung umgeladen werden, bis die Spannung über dem zweiten Schalter mindestens annähernd null wird,
 - wobei die zweite Zeitdauer T_2 mindestens so lange gewählt wird, dass die in der Induktivität gespeicherte Energie zum Umladen der parasitären Kapazitäten (6, 7) ausreicht.
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, wobei die erste und/oder die zweite Zeitdauer verlängert werden, nach Massgabe eines vorgegebenen Strommittelwertes oder zur Steuerung eines Leistungsflusses durch die Wandlerschaltung.
3. Verfahren gemäss Anspruch 2, wobei ein Mittelwert des Stromes I_{MW} durch die Induktivität (5) durch Variation der ersten Zeitdauer T_1 eingestellt wird, wobei die zweite Zeitdauer T_2 grösser/gleich dem Minimalwert gewählt wird und bei unverändertem Strommittelwert I_{MW} die Periodendauer T_P durch gleichsinnige Erhöhung von T_1 und T_2 ausgehend von einem Mindestwert T_{Pmin} erhöht werden kann.
4. Verfahren gemäss Anspruch 2 oder 3, wobei die Wandlerschaltung mindestens einen zweiten Brückenzeig aufweist, dessen Zweigmittelpunkt über eine zweite Induktivität (33) an den ersten Eingangsanschluss (28, 48) geschaltet ist, und der mindestens eine zweite Brückenzeig in derselben Weise wie der erste Brückenzeig angesteuert wird, wobei die Ströme durch die erste und die zweite Induktivität (5, 33) zeitlich gegeneinander versetzt zur Minimierung eines Summenstromrippels am ersten Eingangsanschluss (28, 48) erzeugt werden.
5. Verfahren gemäss einem der bisherigen Ansprüche, wobei der geschaltete weitere Anschluss der Wandlerschaltung ein Zweigmittelpunkt eines weiteren, langsam geschalteten Brückenzeiges ist, und der erste Eingangsanschluss (28, 48) und der zweite Eingangsanschluss (27, 49) an eine Wechselfspannung geschaltet sind und wobei der langsam geschaltete Brückenzeig mit derselben Frequenz schaltet, mit welcher die Wechselfspannung das Vorzeichen wechselt.
6. Aktive Wandlerschaltung, wobei die aktive Wandlerschaltung eine Brückenschaltung mit mindestens einem ersten Brückenzeig aufweist, wobei ein oberer Schalter (1) des ersten Brückenzeigs zwischen einen positiven Anschluss (14) und einen Zweigmittelpunkt geschaltet ist, und ein unterer Schalter (2) des ersten Brückenzeigs zwischen einen negativen Anschluss (15) und den Zweigmittelpunkt geschaltet ist und eine Induktivität (5) zwischen den Zweigmittelpunkt und einen ersten Eingangsanschluss (28, 48) geschaltet ist und ein zweiter Eingangsanschluss (27, 49) an den positiven oder den negativen Anschluss (14, 15) oder an einen geschalteten weiteren Anschluss der Wandlerschaltung geschaltet ist, wobei der obere Schalter (1) eine erste parasitäre Kapazität (6) und der untere Schalter (2) eine zweite parasitäre Kapazität (7) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass der Wandlerschaltung eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Schalter der Wandlerschaltung aufweist, welche zur Ausführung des Verfahrens gemäss einem der vorangehenden Ansprüche ausgebildet ist.

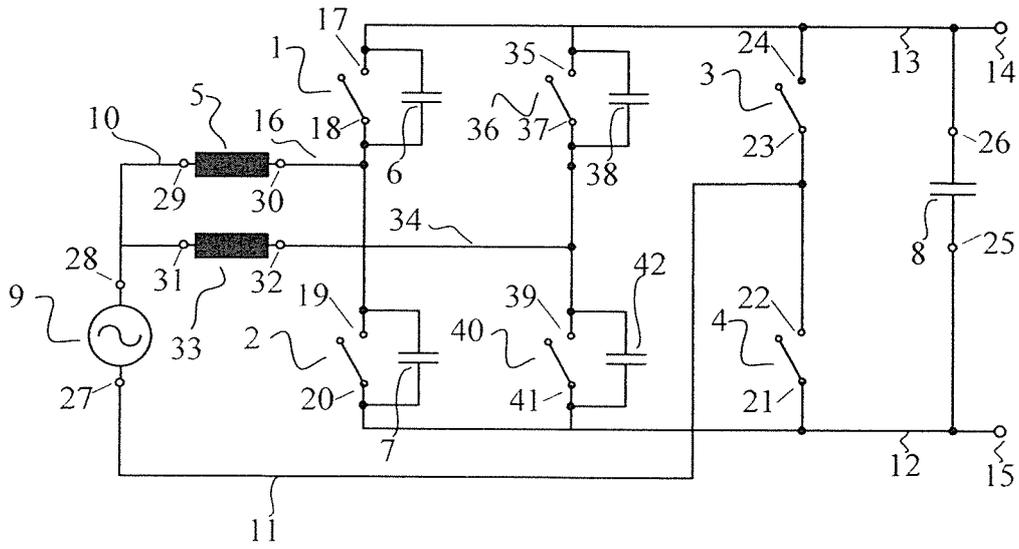
7. Aktive Wandlerschaltung gemäss Anspruch 6, wobei die Wandlerschaltung mindestens einen zweiten Brückenweig aufweist, dessen Zweigmittelpunkt über eine zweite Induktivität (33) an den ersten Eingangsanschluss (28, 48) geschaltet ist und die Steuereinrichtung ausgebildet ist, den mindestens einen zweiten Brückenweig in derselben Weise wie den ersten Brückenweig anzusteuern und dabei die Ströme durch die erste und die zweite Induktivität (5, 33) zeitlich gegeneinander versetzt zur Minimierung eines Summenstromrippels am ersten Eingangsanschluss (28, 48) zu erzeugen.
8. Aktive Wandlerschaltung gemäss Anspruch 6 oder 7, wobei der geschaltete weitere Anschluss der Wandlerschaltung ein Zweigmittelpunkt eines weiteren, langsam geschalteten Brückenweiges ist und der erste Eingangsanschluss (28, 48) und der zweite Eingangsanschluss (27, 49) an eine Wechselspannung geschaltet sind und die Steuereinrichtung ausgebildet ist, den langsam geschalteten Brückenweig mit derselben Frequenz zu schalten, mit welcher die Wechselspannung das Vorzeichen wechselt.



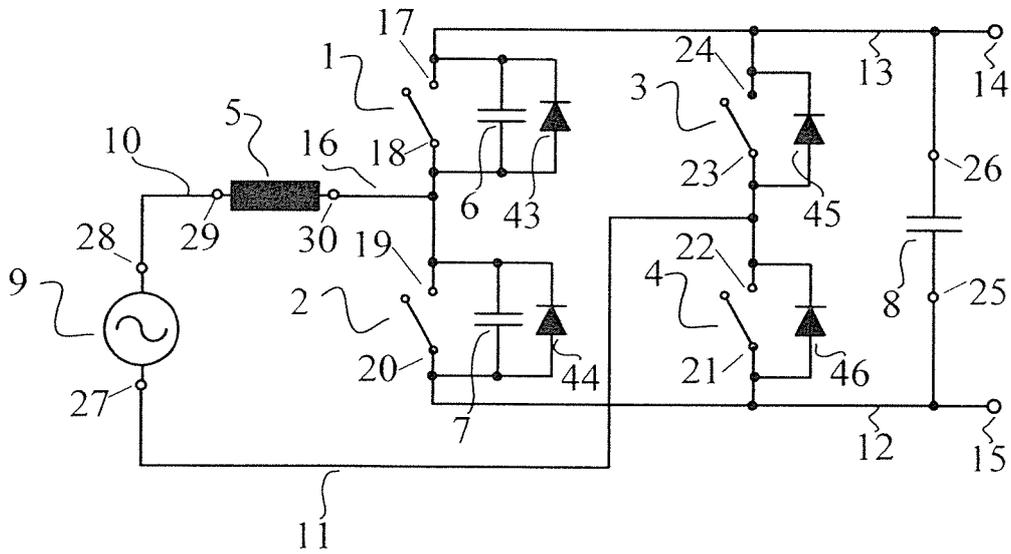
Figur 1



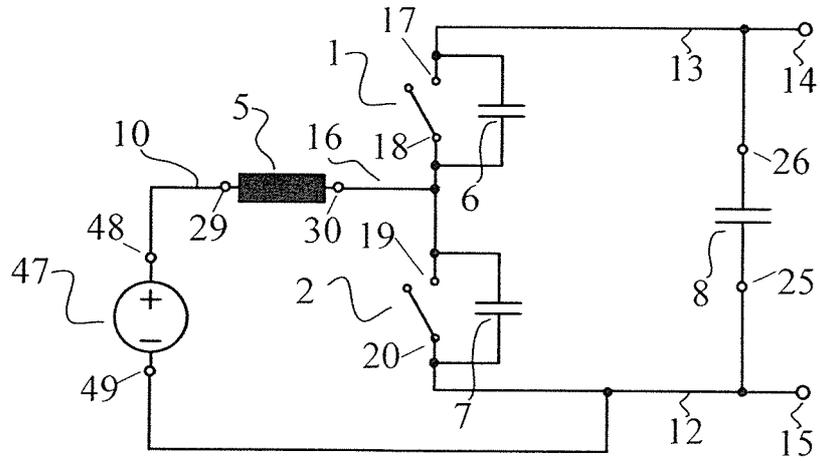
Figur 2



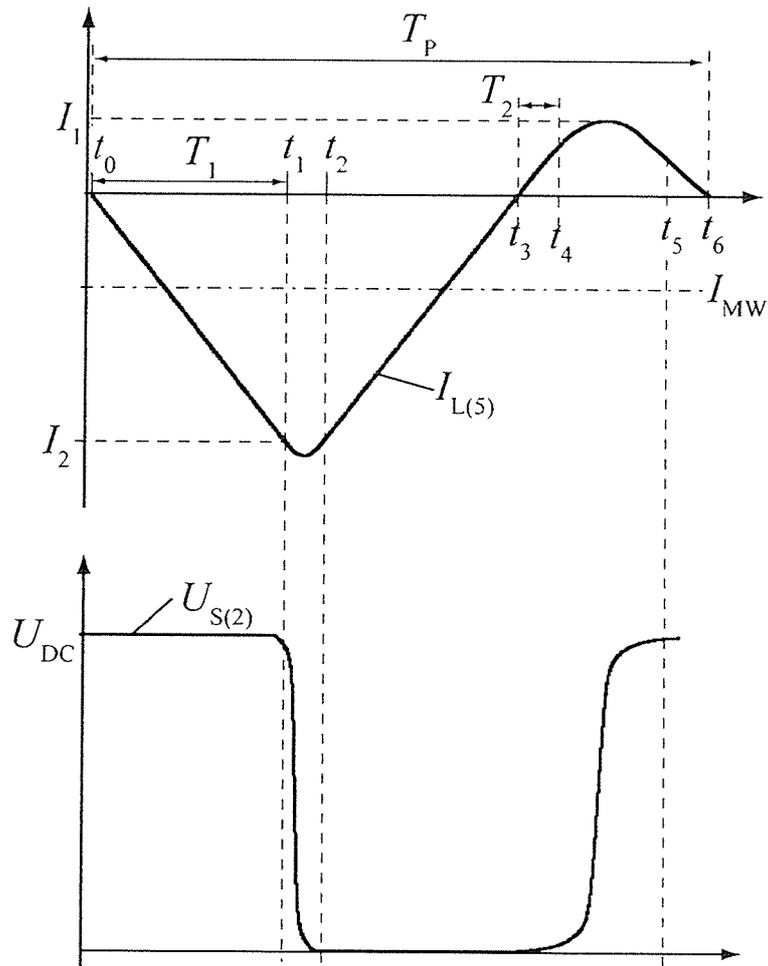
Figur 3



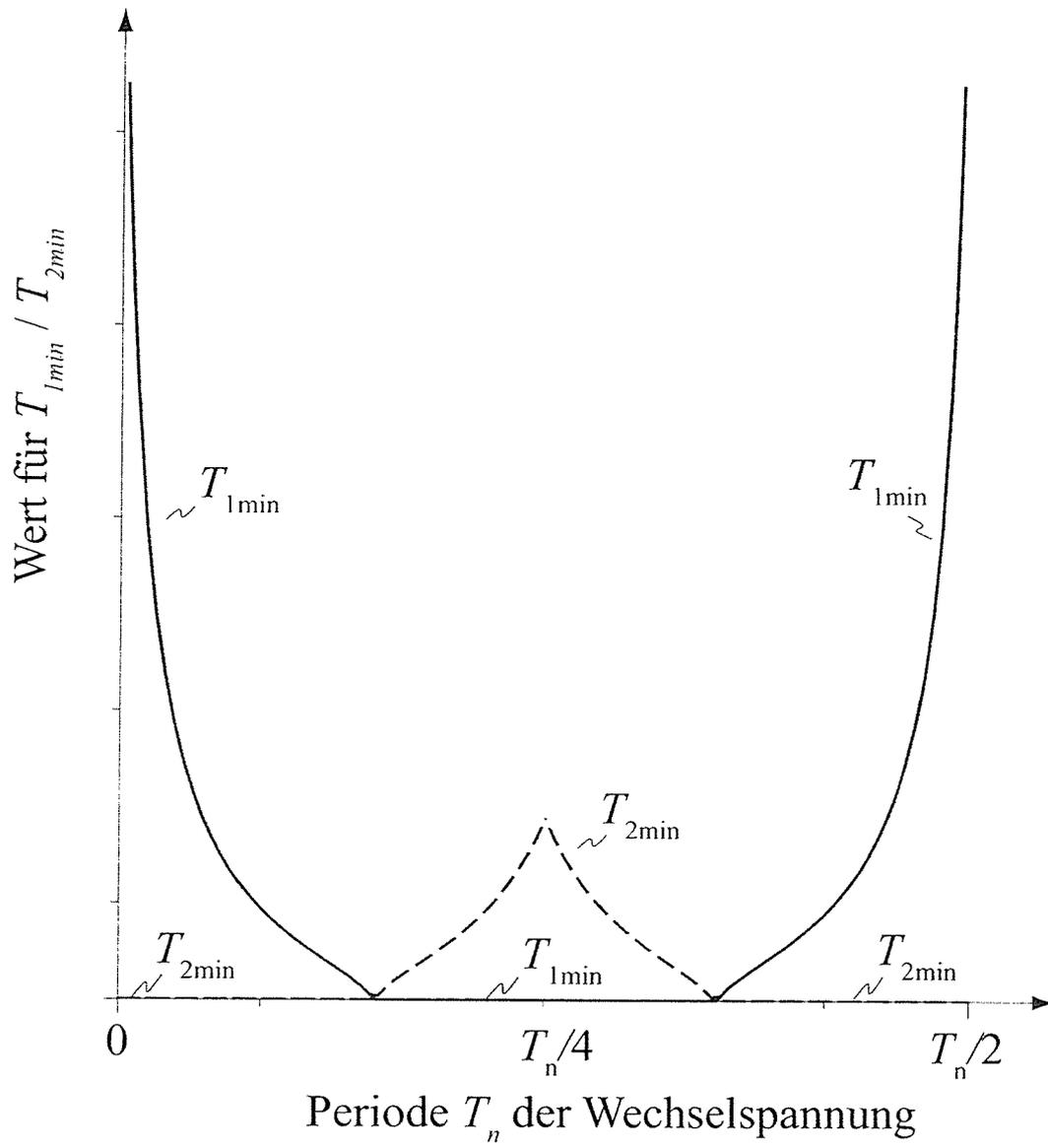
Figur 4



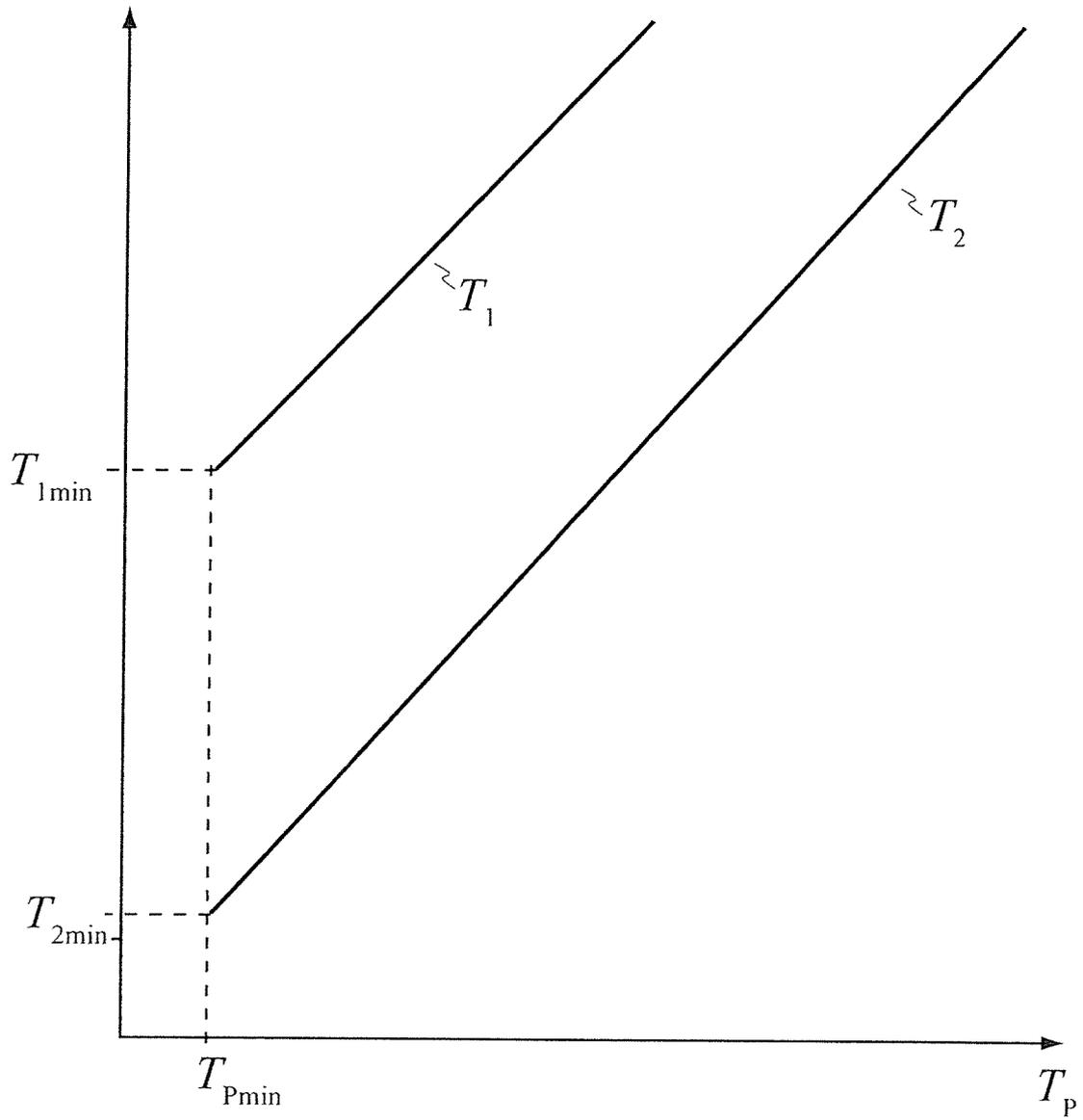
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8