(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 514654 B1 2019-05-15**

(12) # Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 641/2013
(22) Anmeldetag: 13.08.2013
(45) Veröffentlicht am: 15.05.2019

(51) Int. Cl.: ***H02M 1/15*** (2006.01)
G05F 1/59 (2006.01)
H02M 7/162 (2006.01)
H02J 3/01 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CHUNG-CHUAN HOU: "An AC/DC Power System Consisting of a Diode Rectifier and an Auxiliary Three-Level Converter", 8th International Conference on Power Electronics, 2011, Pages 2087-2091.
CN 102130572 A

(73) Patentinhaber:
Schneider Electric Power Drives GmbH
1210 Wien (AT)

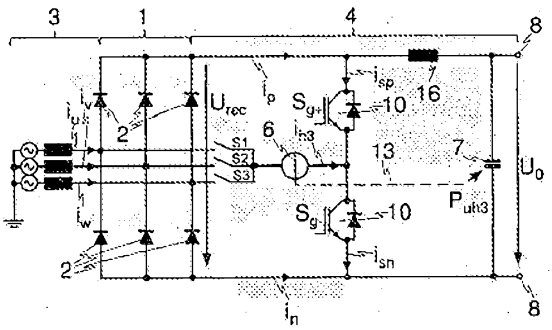
(72) Erfinder:
Hartmann Michael
1040 Wien (AT)
Fehringer Rudolf
1230 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Kliment & Henhapel Patentanwälte OG
1010 Wien (AT)

(54) **Gleichrichterschaltung mit Strominjektion**

(57) Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung (1) von Halbleiterventilen (2), vorzugsweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei die Gleichrichtanordnung (1) einen dreiphasigen netzseitigen Eingang (3) und einen gleichstromseitigen Ausgang (4) mit zwei Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) mit einem Ausgangsanschluss (8) für eine Last (9) aufweist sowie der netzseitige Eingang (3) mit einem dreiphasigen Drehstromnetz mit einer verbunden ist, wobei eine Verbindung Übertragung von einem Injektionsstrom (i_{h3}) vom netzseitigen Eingang (3) zum gleichstromseitigen Ausgang (4) vorgesehen ist. Um die durch Netzrückwirkungen auftretenden Wirkungsgradverluste möglichst gering zu halten ist zumindest eine aktiv steuerbare Stromquelle (6) vorgesehen, die einerseits zu jeder Phase am netzseitigen Eingang (3) mit zumindest einem Schaltelement (S_1,S_2,S_3) zuschaltbar ist und andererseits über schaltbare Steuerelemente (10) mit den gleichstromseitigen Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) verbunden ist.

Fig. 2



AT 514654 B1 2019-05-15

Beschreibung

GLEICHRICHTERSCHALTUNG MIT STROMINJEKTION

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung von Halbleiterventilen, vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei die Gleichrichtanordnung einen dreiphasigen netzseitigen Eingang und einen gleichstromseitigen Ausgang mit zwei Ausgangsleitungen mit einem Ausgangsanschluss für eine Last aufweist sowie der netzseitige Eingang mit einem dreiphasigen Drehstromnetz mit einer Nennspannung verbunden ist, wobei eine Verbindung zur pulsförmigen Übertragung von einem Injektionsstrom vom netzseitigen Eingang zum gleichstromseitigen Ausgang vorgesehen ist, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich weiters auf ein Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung von Halbleiterventilen, vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei ein Injektionsstrom von zumindest einer Phase am netzseitigen Eingang dem gleichstromseitigen Ausgang zugeführt wird, sowie zumindest einer der beiden gleichstromseitigen Gleichrichterströme zumindest teilweise durch eine Drossel geführt wird, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 9.

STAND DER TECHNIK

[0003] In der modernen Elektrotechnik ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Ausführungsformen von Gleichrichterschaltungen bekannt. Die diversen Gleichrichterschaltungen sollen im Wesentlichen über eine netzseitige, sinusförmige Spannung am Eingang eine möglichst konstante Gleichspannung am Ausgang der Gleichrichterschaltung bereitstellen. Eine häufige Gleichrichtanordnung von Dioden ist die aus dem Stand der Technik, insbesondere in der Leistungselektronik, bekannte dreiphasige (Sechspuls-) Brückengleichrichtanordnung (B6 Schaltung). Dabei wird aus einem dreiphasigen Drehstromnetz (die sogenannte Wechselstromseite der Gleichrichterschaltung) mittels einer Brückenanordnung von Dioden (die sogenannte Gleichstromseite der Gleichrichterschaltung) eine gleichgerichtete Spannung erzeugt. Um die aus der am wechselstromseitigen Eingang sinusförmigen Phasenspannung entstehenden sechs überlagerten Halbwellen am gleichstromseitigen Ausgang zu glätten und einen möglichst konstanten Spannungs- sowie Stromverlauf am Ausgang der Gleichrichterschaltung zu erreichen, sind in herkömmlichen Gleichrichterschaltungen gleichstromseitig zusätzliche Induktivitäten (Drosseln) vorgesehen.

[0004] Im Artikel "An AC/DC Power System Consisting of a Diode Rectifier and an Auxiliary Three-Level Converter" von Hou Chung-Chuan wird ein aktiver Filter in Kombination mit der Möglichkeit zur Rückspeisung in das netzseitige AC-Netz beschrieben.

[0005] Der netzseitige Stromverlauf einer Gleichrichterschaltung mit Schaltelementen, Induktivitäten und/oder Kapazitäten, auch jene von einer Last oder einer weiteren elektronischen Schaltung an der Gleichspannungsseite, ist dabei in herkömmlicher Weise nicht streng sinusförmig mit der Netzfrequenz. Die nicht-sinusförmigen Ströme verursachen infolge ihres Oberschwingungsgehalts und der Phasenverschiebung gegenüber der Netzgrundschwingung unerwünschte netzseitige Spannungs- bzw. Stromverzerrungen. Insbesondere bei Gleichrichterschaltungen höherer Leistung sind diese Netzrückwirkungen nicht zu vernachlässigen. Es gilt einen Pegel der summierten Leistung aller Oberschwingungen im Verhältnis zur Leistung der Grundschwingung einzuhalten (THDi, steht für „Total Harmonie Distortion of currents“ bzw. „gesamte harmonische Verzerrung der Ströme“), wobei das THDi-Verhältnis für Stromqualität im Netz steht und gemäß Normen (z.B. IEC 61000-3-2) vorgegeben ist.

[0006] Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die Stromformen der Gleichrichterschaltung durch Hinzufügen bzw. Ableiten von Strömen, den sogenannten Injektionsströmen, beein-

flusst werden können, wobei in herkömmlicher Weise mit einem zusätzlichen Stromzweig vorbei an der Gleichrichtanordnung Ströme von den Phasen am wechselstromseitigen Eingang den Ausgangsströmen am gleichstromseitigen Ausgang hinzugefügt werden. Die Art dieser Strominjektion von Eingang zu Ausgang, um Netzrückwirkungen der Gleichrichterschaltung möglichst zu vermeiden, wird in der anglistischen Literatur auch mit „third harmonic current injection " bezeichnet. Es wird der durch die Gleichrichtanordnung abgeschnittene, annähernd dreiecksförmige Anteil der drei Phasen von sinusförmigen Eingangsströmen zum Ausgang weitergeführt, um Verzerrungen der Phasenströme am Netz zu vermeiden und damit ein besseres THDi zu erreichen.

[0007] In der CN 102130572 A wird eine Schaltung beschrieben, bei der zur Strominjektion zwei Halbbrücken verwendet werden. Mit einer solchen Topologie ist es jedoch grundsätzlich nicht möglich rein sinusförmige Eingangsströme/Netzströme zu erreichen.

[0008] In herkömmlichen Schaltungen tritt des Weiteren mitunter das Problem auf, dass keine ausreichend große Zwischenkreiskapazität bzw. eine Drossel am gleichstromseitigen Ausgang möglich ist, um einen konstanten, gleichgerichteten Strom am Ausgang zu erhalten. Die Drossel ist allerdings mitunter notwendig, damit die wechselförmigen Anteile der gleichgerichteten Spannung an der Drossel abfallen und eine konstante Ausgangsspannung einer Zwischenkreiskapazität zur Verfügung steht.

[0009] Des Weiteren kann die Last am gleichstromseitigen Ausgang in herkömmlicher Weise nur einer Last mit konstanter Leistungscharakteristik entsprechen. Dies ist auch der Fall, wenn der Injektionsstrom mittels eines Netzwerks von passiven Bauelementen hinzugefügt wird. Eine Möglichkeit zur Regelung der Zufuhr des Injektionsstromes, insbesondere zur leistungseffizienten Zufuhr zum Ausgang, fehlt. Die zur Verfügung stehende Leistung am netzseitigen Eingang wird dabei nicht ausreichend am gleichstromseitigen Ausgang genutzt, sondern stattdessen zum Beispiel verlustreich in einer Verbindung eines Injektionsstromes in Wärme umgesetzt. Ein ähnliches Problem des reduzierten Wirkungsgrades zeigt sich bei der in der Literatur bereits bekannten Topologie des „Minnesota Rectifier". Dabei wird eine Hochsetzstruktur (zur möglichen Regelung der Spannung bzw. Leistung am Ausgang des Gleichrichters und zur aktiven Regelung der Gleichrichterströme an den Ausgang des passiven Diodengleichrichters nachgeschalten. Der Hochsetzsteller oder auch Aufwärtswandler genannt bewirkt erhebliche Wirkungsgradverluste der Gleichrichterschaltung.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0010] Es ist daher das Ziel der Erfindung diese Nachteile zu vermeiden und eine Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung sowie ein Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung zur Verfügung zu stellen, durch welches geringe Netzrückwirkungen der Gleichrichterschaltung auftreten, die Gleichrichtung der Netzspannungen bzw. der Netzströme optimal möglich ist sowie veränderliche Lasten am Ausgang vorgesehen sein können ohne dabei erhebliche Wirkungsgradverluste in Kauf zu nehmen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0011] Diese Ziele werden durch die Merkmale von Anspruch 1 und Anspruch 9 erreicht.

[0012] Anspruch 1 bezieht sich auf eine Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung von Halbleiterventilen, vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei die Gleichrichtanordnung einen dreiphasigen netzseitigen Eingang und einen gleichstromseitigen Ausgang mit zwei Ausgangsleitungen mit einem Ausgangsanschluss für eine Last aufweist, sowie der netzseitige Eingang mit einem dreiphasigen Drehstromnetz mit einer Nennspannung verbunden ist, wobei eine Verbindung zur pulsförmigen Übertragung von einem Injektionsstrom vom netzseitigen Eingang zum gleichstromseitigen Ausgang vorgesehen ist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zumindest eine aktiv steuerbare Stromquelle angeordnet ist, die einerseits zu jeder Phase am netzseitigen Eingang mit zumindest einem Schaltelement zuschaltbar ist, und andererseits über schaltbare Steuerelemente mit den gleichstrom-

seitigen Ausgangsleitungen verbunden ist.

[0013] Die Phasen am netzseitigen Eingang werden über Schaltelemente einer aktiv steuerbaren Stromguelle zugeschaltet, wobei, einzelne Phasen zugeschaltet werden können. Die aktiv steuerbare Stromquelle bestimmt die Stromform des Injektionsstromes, der aus den Phasen gezogen wird. Die aktiv steuerbare Stromquelle ist in jener Weise vorgesehen, dass die annähernd dreiecksförmigen Anteile der sinusförmigen Eingangsströme als Injektionsstrom fließen, welche aufgrund der passiven Gleichrichtanordnung nicht fließen würden. Damit werden Netzverzerrungen vermieden und die Gleichrichterschaltung kann mit einem geringeren THDi als an sich bekannte passive Gleichrichterschaltungen betrieben werden. Über schaltbare Steuerelemente wird der Injektionsstrom an die gleichstromseitigen Ausgangsleitungen zugeführt, und zwar durch die Schaltvorgänge der schaltbaren Steuerelemente im Wesentlichen pulsförmig.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Zwischenkreiskapazität parallel zum gleichstromseitigen Ausgangsanschluss der Gleichrichterschaltung, sowie zumindest eine Drossel an einer Verbindung von der Gleichrichtanordnung zum Ausgangsanschluss vorgesehen ist. Mittels Drossel und Zwischenkreiskapazität kann eine konstante, gleichgerichtete Ausgangsspannung bereitgestellt werden. Herkömmliche Gleichrichterschaltungen die mittels Injektionsstrom die Netzverzerrungen verringern sollen, können aufgrund ihrer prinzipiellen Funktionsweise meist nur ohne Zwischenkreiskapazität bzw. Drossel am Ausgang funktionieren. Mit der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung können demnach auch herkömmliche Gleichrichterschaltungen mit DC-seitiger Glättungsdrossel und Zwischenkreiskapazität erweitert werden, um deren Netzrückwirkungen zu verringern.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung ist vorgesehen, dass schaltbare Steuerelemente, vorzugweise IGBTs (Insulated-Gate Bipolar Transistors), mit je einer der Ausgangsleitungen des gleichstromseitigen Ausganges verbunden sind, wobei die aktiv steuerbare Stromquelle einerseits mit den schaltbaren Steuerelementen verbunden ist und andererseits mit den Schaltelementen zur Strominjektion. Die schaltbaren Steuerelemente schalten die einzelnen Phasen zur aktiv steuerbaren Stromquelle, wobei der Injektionsstrom mittels Steuerung der aktiv steuerbaren Stromquelle auf einen annähernd dreiecksförmigen Injektionsstrom geregelt wird. Der Injektionsstrom wird mittels der IGBT-Module pulsförmig auf die Ausgangsleitungen der Gleichrichterschaltung geschaltet. Die Ansteuerung der IGBT-Module ist aus der Leistungselektronik bekannt. Es ergibt sich durch die pulsförmige Zuschaltung zum Gleichrichterstrom im Mittel die gewünschte sinusförmige Stromform an der Drossel.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass an einem Ausgangsanschluss des gleichstromseitigen Ausganges eine zeitlich veränderliche Last vorgesehen ist, wobei eine Regeleinrichtung zur lastabhängigen Regelung der aktiv steuerbaren Stromquelle vorgesehen ist. Mittels der Steuerung der aktiv steuerbaren Stromquelle und den schaltbaren Steuerelementen ist es möglich, die Ausgangsspannung bzw. den Ausgangsstrom auch an veränderliche Lasten mit nicht konstanter Leistungsaufnahme anzupassen. Eine Regeleinrichtung regelt dahingehend sowohl die aktiv steuerbare Stromquelle als auch die schaltbaren Steuerelemente, wie im Weiteren zu Anspruch 9 erläutert wird.

[0017] Um die erfindungsgemäße Gleichrichterschaltung möglichst ohne Wirkungsgradverluste und möglichst leistungseffizient zu betreiben ist vorgesehen, dass die aktiv steuerbare Stromquelle eine Kopplungseinrichtung aufweist, wobei mittels der Kopplungseinrichtung eine Injektionsleistung der aktiv steuerbaren Stromquelle an den Ausgangsanschluss übertragbar ist. Bei der Regelung des Injektionsstromes entsteht in der aktiv steuerbaren Stromquelle eine Leistung wobei die notwendige Energie den netzseitigen Phasen entnommen wird. Diese Energie kann entweder passiv, z.B. durch Widerstände, in Wärme umgewandelt werden, was den Wirkungsgrad der Schaltung beträchtlich reduziert oder vorteilhafterweise mittels einer geeigneten Koppeleinrichtung an den Ausgang der Gleichrichterschaltung übertragen werden.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung ist vorgesehen, dass die Kopplungseinrichtung mittels einer primären Wicklung, durchflos-

sen vom Injektionsstrom, zu einer gekoppelten sekundären Wicklung ausgeführt ist, wobei die sekundäre Wicklung in einem Brückenzweig einer Vollbrücke aus schaltbaren Steuerelementen, vorzugsweise IGBTs, vorgesehen ist und die Vollbrücke parallel zum gleichstromseitigen Ausgang verbunden ist sowie zur sekundären Wicklung eine in Serie geschaltete Induktivität am Brückenzweig vorgesehen ist. Die Leistungsübertragung erfolgt vorzugsweise mittels Transformation von einer primären Wicklung, nämlich jener in welcher der Injektionsstrom fließt, zu einer sekundären Wicklung, wobei die sekundäre Wicklung im Brückenzeig einer Vollbrücke von steuerbaren Schaltelementen am Ausgangsanschluss parallel zur Zwischenkreiskapazität vorgesehen ist. Mittels an sich bekannter Ansteuerung der schaltbaren Steuerelemente kann die durch die Regelung des Injektionsstromes entstehende und an den Brückenzweig transformierte Leistung an den Ausgangsanschluss abgeführt werden. Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform wird sowohl der mögliche primärseitige Injektionsstrom mittels Ansteuerung der schaltbaren Steuerelemente aktiv gesteuert als auch die Leistung von der primären Wicklung zur sekundären Wicklung übertragen.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung ist vorgesehen, dass eine der gleichstromseitigen Ausgangsleitungen mittels Filterkondensator mit zumindest einem der Schaltelemente verbunden ist. Des Weiteren ist vorgesehen, dass zwei Filterkondensatoren mit den Schaltelementen verbunden sind, wobei ein Filterkondensator parallel zur Gleichrichtanordnung geschaltet ist. Des Weiteren ist vorgesehen, dass zwei Filterkondensatoren mit den Schaltelementen verbunden sind, wobei ein dritter Filterkondensator parallel zur Gleichrichtanordnung geschaltet ist. Die Filterkondensatoren filtern die hochfrequenten, pulsförmigen Stromsignale des pulsförmig zugeschalteten Injektionsstromes, diese sind notwendig um einerseits die Halbleiterventile der Gleichrichtanordnung nicht zu beschädigen und andererseits um zu verhindern, dass sich die hochfrequenten pulsförmigen Ströme nicht im Netz ausbreiten. Die Filterkondensatoren bilden zusammen mit der parasitären Induktivität, insbesondere der vorwiegend induktiven Impedanz des speisenden Stromnetzes, einen Schwingkreis der gedämpft werden muss. Aus Symmetriegründen sind drei Filterkondensatoren notwendig, um die Ableitung der hochfrequenten Ströme sicherzustellen.

[0020] Anspruch 9 bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung von Halbleiterventilen, vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei ein Injektionsstrom von zumindest einer Phase am netzseitigen Eingang dem gleichstromseitigen Ausgang zugeführt wird sowie zumindest einer der beiden gleichstromseitigen Gleichrichterströme zumindest teilweise durch eine Drossel geführt wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der Injektionsstrom mit einer aktiv steuerbaren Stromquelle in Abhängigkeit der Gleichrichterströme gebildet wird, indem der Injektionsstrom annähernd dreiecksförmig gebildet wird und der Injektionsstrom über schaltbare Steuerelemente den beiden Gleichrichterströmen in Pulsform zugeführt wird.

[0021] Der Injektionsstrom wird mittels der aktiv steuerbaren Stromquelle von den Phasen abgeführt. Da die Last am Ausgang veränderlich vorgesehen sein kann, muss die Amplitude des Injektionsstromes in Abhängigkeit der Last erzeugt werden, um einen Laststrom entsprechend der veränderlichen Last und damit der veränderlichen Gleichrichterströme zur Verfügung zu stellen. Mittels Schaltung der schaltbaren Steuerelemente wird der Injektionsstrom den Gleichrichterströmen in Pulsen entsprechend der Schaltvorgänge hinzugefügt. Dadurch wird eine lastabhängige Regelung des Injektionsstromes und damit auch der Gleichrichterströme bei gleichzeitig geringen Netzrückwirkungen der Gleichrichterschaltung erreicht.

[0022] Des Weiteren ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass der Injektionsstrom mit zumindest einem von drei Schaltelementen vom netzseitigen Eingang zur aktiven Stromquelle zugeschaltet wird, wobei die aktiv steuerbare Stromquelle den möglichen Injektionsstrom aktiv festlegt. Eine Injektionsspannung an der Stromquelle legt den möglichen, von den Phasen an den gleichstromseitigen Ausgang geführten Injektionsstrom aktiv fest. Von den Phasen muss für den benötigten Injektionsstrom jeweils der Anteil einer anderen Phase zugeführt werden, wofür, die Zuschaltung einzelner Phasen mittels Schaltelementen möglich sein muss. Die Bildung des Injektionsstromes erfolgt

also im Zusammenspiel der aktiv steuerbaren Stromquelle und der Schaltelemente zum netzseitigen Eingang.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Injektionsstrom in Abhängigkeit einer Eingangsleistung am netzseitigen Eingang der Gleichrichterschaltung geregelt wird. Die Eingangsleistung am netzseitigen Eingang korrespondiert, abgesehen von den Verlusten der Gleichrichterschaltung, direkt mit den von der Gleichrichtanordnung zur Verfügung gestellten Gleichrichterströmen. Wird also die Eingangsleistung gemessen, so kann abhängig vom Messergebnis der Injektionsstrom von der aktiv steuerbaren Stromquelle eingestellt werden.

[0024] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass neben dem Injektionsstrom sowohl ein negativer Gleichrichterstrom als auch ein positiver Gleichrichterstrom am gleichstromseitigen Ausgang der Gleichrichtanordnung gemessen wird und zusammen mit den gemessenen Spannungen der Gleichrichtanordnung die Leistung bestimmt wird, um die Regelung des Injektionsstromes bewerkstelligen zu können. Diese Ausführungsform stellt eine besonders vorteilhafte Messmethode dar, da die Messung der Leistung aller drei Phasen am netzseitigen Eingang eine aufwendige Messung darstellt. Der Injektionsstrom muss zur Regelung des Injektionsstromes gemessen werden. Ebenso muss einer der Gleichrichterströme gemessen werden, um den Injektionsstrom durch die Steuerelemente auf den positiven bzw. negativen Gleichrichteranschluss aufteilen zu können. Diese beiden Messpunkte sind also vorgegeben und zwingend vorhanden. Wird jetzt eine weitere, einfache Messung des zweiten Gleichrichterstromes vorgenommen, so kann die Eingangsleistung bestimmt werden, wodurch die aufwendigere Messung der Leistung an den Phasen am netzseitigen Eingang entfällt.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass eine äquivalente Konduktanz (elektrischer Leitwert) aus der Eingangsleistung und dem Effektivwert der Nennspannung berechnet wird und die Konduktanz zusammen mit einer von der Nennspannung vorgegebenen positiven Gleichrichterspannung den Sollwert des positiven Gleichrichterstromes bestimmt und auf einen Sollwert des positiven Gleichrichterstromes mittels dem Steuerstrom und den schaltbaren Steuerelementen geregelt wird, wobei sich der negative Gleichrichterstrom in Kombination mit dem Injektionsstrom i_{h3} aufgrund der Topologie ergibt.

[0026] Die Gleichrichterströme müssen je nach Last und damit Konduktanz der Gleichrichterschaltung am netzseitigen Eingang geregelt werden. Die Bestimmung der Konduktanz ist aus der Eingangsleistung und dem Nennspannungseffektivwert vorteilhaft möglich. Mittels der bereits ermittelten Eingangsleistung und der Konduktanz der Gleichrichterschaltung wird der Sollwert eines Gleichrichterstromes bestimmt. Auf diesen Sollwert des einen Gleichrichterstromes wird mittels aktiv steuerbarer Stromquelle und an sich bekannter Ansteuerung der steuerbaren Schaltelemente geregelt. Die beiden Gleichrichterströme sind symmetrisch und phasenverschoben zueinander, womit es ausreicht nur auf einen der Gleichrichterströme zu regeln, wobei sich der andere ergibt. Mit einer derartigen Regelung ist eine einfache Anpassung der Gleichrichterströme auf die veränderliche Last am Ausgang möglich.

[0027] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass eine Injektionsleistung der aktiv steuerbaren Stromquelle an den Ausgangsanschluss übertragen wird. Mit Regelung des Injektionsstromes entsteht an der aktiv steuerbaren Stromquelle eine Injektionsleistung, nämlich über den Injektionsstrom und die zugehörige Injektionsspannung. Diese Leistung wird über die Energie vom netzseitigen Eingang eingespeist. Um den Wirkungsgrad der Gleichrichterschaltung zu verbessern ist vorgesehen, dass diese aufgebrachte Leistung nicht in der aktiv steuerbaren Stromquelle, etwa in Form von Wärme, verlorengeht, sondern an die Ausgangsanschlüsse übertragen wird. Damit wird Leistung nicht nur über die Gleichrichtanordnung vom netzseitigen Eingang zum Ausgangsanschluss transportiert, sondern auch jener Leistungsanteil des Injektionsstromes, durch welchen ein besserer Wirkungsgrad der Gleichrichterschaltung erreicht wird, wobei diverse Verfahren

zur Leistungsübertragung in der Leistungselektronik an sich bekannt sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0028] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen hierbei die

[0029] Fig. 1 eine herkömmliche Ausführungsform einer Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung,

[0030] Fig. 2 eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung mit dreiphasiger Gleichrichtanordnung,

[0031] Fig. 2a den Verlauf von drei Phasenströmen am netzseitigen Eingang der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0032] Fig. 2b den Verlauf eines Drosselstromes sowie eines Ausgangsstromes am gleichstromseitigen Ausgang einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0033] Fig. 2c den Verlauf eines positiven Gleichrichterstromes und eines Mittelwertes des positiven Gleichrichterstromes einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0034] Fig. 2d den Verlauf eines Injektionsstromes einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0035] Fig. 2e den Verlauf eines negativen Gleichrichterstromes und eines Mittelwertes des negativen Gleichrichterstromes einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0036] Fig. 2f den Verlauf eines positiven Steuerstromes und eines Mittelwertes des positiven Steuerstromes einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0037] Fig. 2g den Verlauf eines positiven Steuerstromes und eines Mittelwertes des positiven Steuerstromes einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung gemäß Fig. 2,

[0038] Fig. 3 eine weitere bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung mit dreiphasiger Gleichrichtanordnung und Filterkondensatoren,

[0039] Fig. 4 eine bevorzugte Ausführungsform einer aktiv steuerbaren Stromquelle der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung,

[0040] Fig. 5 ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung einer Gleichrichterschaltung mit dreiphasiger Gleichrichtanordnung sowie

[0041] Fig. 6 ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung des Injektionsstromes.

FUNKTIONSWEISE DER ERFINDUNG

[0042] Die Fig. 1 zeigt eine bekannte Gleichrichterschaltung mit einer Gleichrichtanordnung 1 von Halbleiterventilen 2, eine (Sechspuls-) Brückengleichrichtanordnung mit Dioden sowie mit einer gleichstromseitigen Drossel 16. Anstatt Dioden können aber auch andere bekannte Halbleiterventile 2 wie Thyristoren eingesetzt werden. Die Gleichrichterschaltung umfasst einen netzseitigen Eingang 3 und einen gleichstromseitigen Ausgang 4, wobei am netzseitigen Eingang 3 die Phasen ausgeführt sind, und am gleichstromseitigen Ausgang 4 eine positive Ausgangsleitung P_{DC} und eine negative Ausgangsleitung N_{DC} vorgesehen sind. An der positiven Ausgangsleitung P_{DC} ist ein positiver Gleichrichterstrom i_p vorgesehen und an der negativen Ausgangsleitung N_{DC} ist ein negativer Gleichrichterstrom i_n vorgesehen. An der Gleichrichtanordnung 1 liegt eine gleichgerichtete Spannung U_{rec} an, wobei am Ausgang eine konstante Ausgangsspannung U_0 an einem Ausgangsanschluss 8 anliegt. Am Ausgangsanschluss 8 ist

eine Last 9, dargestellt als variabler Widerstand, angeordnet, die eine zeitlich veränderliche Leistung $P_0(t)$ aufnehmen kann. Die Last 9 wird in den weiteren Figuren nicht dargestellt, da der Anschluss an der jeweiligen selben Stelle wie in Fig. 1 erfolgt. Die Last 9 kann auch eine weitere elektronische Schaltung, etwa ein weiterer Stromumrichter, sein, wobei die dargestellte Gleichrichterschaltung dann als sogenannter Zwischenkreis verwendet wird. Die gesamte Leistung der Last 9 wird über die Drossel 16 transportiert, wobei die durch die Gleichrichtanordnung 1 entstehenden nicht sinusförmigen Stromverläufe der Gleichrichterströme i_p, i_n durch eine Drossel 16 geglättet werden. An einer zum Ausgangsanschluss 8 parallelen Zwischenkapazität 7 kann dann eine möglichst konstante Ausgangsspannung U_0 abgegriffen werden.

[0043] Die in Fig. 1 dargestellte Gleichrichterschaltung weist jedoch eine bezüglich Netzrückwirkungen nachteilige Ausführung auf. Die Gleichrichterströme i_p, i_n fließen über die Last 9 zurück auf den netzseitigen Eingang 3 und verursachen unerwünschte Netzrückwirkungen. Ein THDi-Verhältnis gemäß Norm wird dabei üblicherweise nicht erreicht.

[0044] Die Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung, wobei die Netzrückwirkungen gegenüber der Gleichrichterschaltung der Fig. 1 verringert sind und ein besseres THDi erreicht wird. Die Fig. 2 zeigt eine aktiv steuerbare Stromquelle 6, über welche ein Injektionsstrom i_{h3} über drei Schaltelemente S_1, S_2, S_3 von den Phasen abgezweigt wird. Die einzelnen Phasen werden entsprechend ihrer Phasenverschiebung zur aktiv steuerbaren Stromquelle 6 zugeschaltet, um jenen Anteil der Phasenströme als Injektionsstrom i_{h3} zu entnehmen, der von der Gleichrichtanordnung gesperrt ist. Der Injektionsstrom i_{h3} ist annähernd dreiecksförmig, wie in Fig. 2d und im Weiteren zu den Fig. 2a bis 2g erläutert wird.

[0045] Der Injektionsstrom i_{h3} wird mittels der Schalter S_1, S_2, S_3 von den Phasen abgeleitet und durch die aktiv steuerbare Stromquelle 6 entsprechend der Amplitude der Phasenströme i_u, i_v, i_w geregelt. Die Amplituden der Phasenströme i_u, i_v, i_w, korrelieren unmittelbar mit einer netzseitigen Eingangsleistung P_{IN}. Wird die Last 9 und damit die Eingangsleistung P_{IN} erhöht, so werden auch die Stromamplituden der Gleichrichterströme i_p, i_n erhöht, wobei auch der Injektionsstrom i_{h3} entsprechend erhöht werden muss. Diese Regelungsaufgabe wird von der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 übernommen. Die aktiv steuerbare Stromquelle 6 zieht den Injektionsstrom i_{h3} von der Phase an den gleichstromseitigen Ausgang 4 der Gleichrichterschaltung. Die aktiv steuerbare Stromquelle 6 ist gegenüber passiven Bauelementen als aktiv zu bezeichnen, welche keine Stromstärken aktiv vorgeben können. Die aktiv steuerbare Stromquelle 6 erzeugt dabei auch Wirkleistung und zwar die Injektionsleistung P_{uh3}, die sich aus einer Injektionsspannung u_{h3} der Stromquelle sowie dem Injektionsstrom i_{h3} ergibt. Die Energie für die Injektionsleistung P_{uh3} wird jedoch aus den Phasen bezogen. Eine externe Energiezufuhr zur aktiv steuerbaren Stromquelle 6 wäre zur leistungseffizienten Betreibung der Gleichrichterschaltung nicht dienlich.

[0046] Die aktiv steuerbare Stromquelle 6 ist einerseits mit den Schaltelementen S_1, S_2, S_3 zu den Phasen und andererseits mit schaltbaren Steuerelementen 10, vorzugsweise IGBTs S_{g+}, S_{g-} verbunden. Anstelle von IGBTs können auch andere schaltbare Steuerelemente 10, wie etwa MOSFETs, GTOs, schnelle, mechanische Schalter oder dgl., vorgesehen sein.

[0047] Jeweils ein IGBT S_{g+}, S_{g-} verbindet die aktiv steuerbare Stromquelle 6 mit den Ausgangsleitungen P_{DC}, N_{DC} und schaltet den Injektionsstrom i_{h3} bzw. Teile des Injektionsstromes i_{h3} zu den Gleichrichtströmen i_p, i_n hinzu. Die IGBTs führen einen positiven Steuerstrom i_{sp} bzw. einen negativen Steuerstrom i_{sn}. Die Schaltung der schaltbaren Steuerelemente 10 erfolgt mit an sich bekannten Mitteln, mittels einer Regeleinrichtung 11 (siehe Fig. 5). Insbesondere ist auch eine bekannte Pulsbreitenmodulation bei der Ansteuerung der IGBTs S_{g+}, S_{g-} möglich. Die IGBTS S_{g+}, S_{g-} zeigen im Idealfall keinen Widerstand bzw. im Realfall nur einen sehr kleinen Widerstand. In der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 entsteht aufgrund der Strom- und Spannungssituation eine Wirkleistung. Es ist eine Leistungsübertragung der Injektionsleistung P_{uh3} auf dem gleichstromseitigen Ausgangsanschluss 8 vorgesehen.

[0048] Anderenfalls würde die Injektionsleistung P_{uh3} etwa in Form von Wärme in der aktiv

steuerbaren Stromquelle 6 verloren gehen und die Gleichrichterschaltung einen schlechten Wirkungsgrad erzielen. Eine mögliche Ausführungsform der beschriebenen Leistungsübertragung mittels einer Kopplungseinrichtung 13 wird im Weiteren zu Fig. 4 beschrieben.

[0049] Die Fig. 2a bis 2g zeigen Strom- und Spannungsverläufe der Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung nach Fig. 2, wobei alle Fig. 2a bis 2g die gleiche Zeitbasis aufweisen und bei einer Netzfrequenz von 50 Hz dargestellt sind. Bezugsrichtungen der Ströme gelten gemäß der Fig. 2.

[0050] Die Fig. 2a zeigt den Verlauf der Phasenströme i_u, i_v, i_w am netzseitigen Eingang 3. Die Phasenströme i_u, i_v, i_w verlaufen sinusförmig und sind in Phase mit den Netzspannungen (nicht dargestellt), wobei sie entsprechend eines Drehstromnetzes phasenverschoben. Diese Sinusform mit der dargestellten Phasenverschiebung soll im Idealfall bei Anschluss einer Last 9 am Ausgangsanschluss 8 beibehalten werden, um keine Netzverzerrungen zu erhalten und damit ein hohes THDi zu erreichen.

[0051] Die Fig. 2b zeigt einen Stromverlauf eines Drosselstromes i_L sowie eines Ausgangsstromes i_0. Der Drosselstrom i_L ist annähernd sinusförmig, wobei der Ausgangsstrom i_0 durch die Drossel 16 und die Zwischenkreiskapazität 7 konstant ist. Der Mittelwert des Drosselstromes i_L ist niedriger als der Ausgangsstrom i_0. Diese Erhöhung des Ausgangsstromes i_0 gegenüber dem Drosselstrom i_L ergibt sich aus dem Leistungstransport der Injektionsleistung P_{uh3} an den gleichstromseitigen Ausgangsanschluss 8. Die Injektionsleistung P_{uh3} wird erst nach der Drossel 16 hinzugefügt, wodurch der Ausgangsstrom i_0 vorteilhaft erhöht wird.

[0052] Die Fig. 2c zeigt den Verlauf eines positiven Gleichrichterstromes i_p sowie einen Mittelwert (gemittelt über eine Schaltperiode der Schalter S_{g+}, S_{g-}) des positiven Gleichrichterstromes $i_{p,avg}$. Die Fig. 2e zeigt den Verlauf eines negativen Gleichrichterstromes i_n sowie einen Mittelwert des negativen Gleichrichterstromes $i_{n,avg}$. Die beiden Gleichrichterströme zeigen einen pulsförmigen Verlauf, wobei die Pulsform aus den Schaltzuständen der IGBTs S_{g+}, S_{g-} zustande kommt, bei denen ein Anteil des Injektionsstromes i_{h3} pulsförmig hinzugefügt bzw. abgezogen wird.

[0053] Die Fig. 2d zeigt den Verlauf des Injektionsstromes i_{h3}. Der Injektionsstrom i_{h3} wird von der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 annähernd dreiecksförmig geregelt und von den Phasenströmen i_u, i_v, i_w abgezweigt, wobei sich dabei jener Anteil der Phasenströme i_u, i_v, i_w aus Fig. 2a ergibt, der von der Gleichrichtanordnung 1 nicht durchgelassen wird.

[0054] Die Fig. 2f zeigt einen positiven Steuerstrom i_{sp} sowie einen Mittelwert des positiven Steuerstromes $i_{sp,avg}$. Die Fig. 2g zeigt einen negativen Steuerstrom i_{sn} sowie einen Mittelwert des negativen Steuerstromes $i_{sp,avg}$. Der positive Steuerstrom i_{sp} bzw. der negative Steuerstrom i_{sn} werden den Gleichrichterströmen i_p,i_n hinzugefügt bzw. von diesen abgezweigt. Mittels der Steuerströme i_{sp}, i_{sn} wird auf die Mittelwerte der Gleichrichterströme $i_{p,avg}$, $i_{n,avg}$ geregelt. Diese Stromform am gleichstromseitigen Ausgang 4 nach der Gleichrichtanordnung 1 ist optimal, um sinusförmige Phasenströme i_u, i_v, i_w und einen konstanten Ausgangsstrom i_0 zu erhalten und dabei Netzverzerrungen zu vermeiden.

[0055] Die Gleichrichterströme i_p, i_n zeigen gemäß der Ausführungsform nach Fig. 2 jedoch starke pulsförmige Anteile, welche gefiltert werden müssen, um einerseits einen Stromfluss (Kommutierung) zwischen den Halbleiterelementen zu ermöglichen und andererseits eine Ausbreitung im Netz zu verhindern. Deshalb sind Filterkondensatoren 12 vorgesehen, die die Pulse dämpfen und einen geglätteten Verlauf der Phasenströme i_u, i_v, i_w, bei weiterhin pulsförmigen Zuschalten durch die IGBTs S_{g+},S_g-, sicherstellen. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung mit Filterkondensatoren 12 ist in Fig. 3 dargestellt. Die Filterkondensatoren 12 müssen sowohl hochfrequente Ströme aufgrund der Pulse von den Ausgangsleitungen P_{DC}, N_{DC} zu den Phasen ableiten, als auch zwischen den Ausgangsleitungen P_{DC}, N_{DC} hochfrequente Ströme zum Ausgleich vorsehen. Aufgrund der Anordnung sind gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Fig. 3 insgesamt drei Filterkondensatoren 12 vorgesehen.

[0056] In Fig. 4 ist nur ein Ausschnitt einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Gleichrichterschaltung dargestellt. Die Fig.4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 mit Kopplungseinrichtung 13, wobei dabei die Übertragung der Injektionsleistung P_{uh3} vorgesehen ist. Die Leistungsübertragung erfolgt vorzugsweise mittels Transformation von einer primären Wicklung 14, nämlich jener in welcher der Injektionsstrom i_{h3} fließt, zu einer sekundären Wicklung 15. Die sekundäre Wicklung 15 ist im Brückenzweig einer Vollbrücke 17 von steuerbaren Schaltelementen 10 am Ausgangsanschluss 8 parallel zur Zwischenkreiskapazität 7 vorgesehen. Die Verbindung der Vollbrücke 17 zum Ausgangsanschluss 8 bildet die Kopplungseinrichtung 13. Mittels an sich bekannter Ansteuerung der schaltbaren Steuerelemente 10 kann die transformierte Leistung vom Brückenzweig an den Ausgangsanschluss 8 abgeführt werden. Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform wird mittels der beiden Wicklungen 14,15 sowohl der primärseitig mögliche Strom, also der Injektionsstrom i_{h3}, mittels Ansteuerung der schaltbaren Steuerelemente 10 aktiv gesteuert, als auch die Injektionsleistung P_{uh3} von der primären Wicklung 14 zur sekundären Wicklung 15 übertragen. Durch geeignete Ansteuerung der Vollbrücke 17 kann der Injektionsstrom i_{h3} durch die Drossel 16 geführt und mit den Kopplungseinrichtung 13 auf die primäre Wicklungsseite 14 übertragen werden.

[0057] Die Fig. 5 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung einer Gleichrichterschaltung mit dreiphasiger Gleichrichtanordnung. Dabei ist zu erwähnen, dass die mit einem X gekennzeichneten Blöcke einen Multiplikator darstellen. Es wird zunächst die Eingangsleistung P_{IN} bestimmt, wobei eine direkte Messung der Eingangsleistung P_{IN} an den Phasen oder eine Berechnung der Eingangsleistung P_{IN} über die gemessenen Gleichrichterströme i_p, i_n und dem eingestellten Injektionsstrom i_{h3} möglich ist. Über einen gemessenen Nennspannungseffektivwert $U_{N,eff}$, welcher sich aus den einzelnen Nennspannungseffektivwerten $U_{N1,eff}$, $U_{N2,eff}$, $U_{N3,eff}$ der Zweige ergibt, am netzseitigen Eingang wird eine Konduktanz G der Gleichrichterschaltung gemäß Gl. 1 bestimmt.

$$G = \frac{P_{IN}}{U_{N1,eff}{}^2 + U_{N2,eff}{}^2 + U_{N3,eff}{}^2} = \frac{P_{IN}}{3U_{N,eff}{}^2} \qquad (1)$$

[0058] Mittels einer positiven Gleichrichterspannung u_p, die an der positiven Ausgangsleitung P_{DC} gegenüber einem Neutralpunkt des Netzes gemessen wird, wird ein Sollwert des positiven Gleichrichterstromes i_{p^*} bestimmt. Bei der Regelung auf einen Sollwert des positiven Gleichrichterstromes i_{p^*} handelt es sich um einen Sollwert, der einem Mittelwert von pulsförmigen Anteilen des tatsächlichen positiven Gleichrichterstromes i_p entspricht. Bei einem eingestellten Sollwert i_{p^*} würden sich somit keinerlei Netzverzerrungen am netzseitigen Eingang 3 ergeben und der positive Gleichrichterstrom i_p wäre je nach Last 9 ausgelegt. Vom Sollwert des positiven Gleichrichterstromes i_{p^*} wird ein genommener Messwert des positiven Gleichrichterstromes $i_{p,meas}$ abgezogen, wobei sich eine Regeldifferenz i_{diff} ergibt. Um diese Regeldifferenz i_{diff} auszugleichen wird der Injektionsstrom i_{h3} von der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 und den IGBTs S_{g+}, S_{n-} mittels einer Regeleinrichtung 11 geregelt. Die Regeleinrichtung 11 ist mit an sich bekannter Hard- und oder Software in jener Weise ausgeführt, dass der Injektionsstrom i_{h3} der aktiv steuerbaren Stromquelle 6 und die Schalt zustande der IGBTs S_{g+}, S_{g-} eingestellt werden. Dabei wird die Regeldifferenz i_{diff} ausgeglichen und ein geregelter Mittelwert des positiven Gleichrichterstromes $i_{p,avg}$ ist auf der positiven Ausgangsleitung PDC Ebenso kann die Regelung auf einen negativen Gleichrichterstrom i_n erfolgen, wobei sich bei Regelung eines Gleichrichterstromes i_p, i_n der andere Gleichrichterstrom i_p, i_n in Kombination mit dem Injektionsstrom i_{h3} aufgrund der Topologie der Gleichrichterschaltung ergibt.

[0059] Die Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung des Injektionsstromes i_{h3}. Dabei ist zu erwähnen, dass die mit einem X gekennzeichneten Blöcke einen Multiplikator darstellen. Es wird zu Beginn der Sollwert des Injektionsstromes i_{h3^*} mittels einer Multiplikation der Injektionsspannung u_{h3} mit der Konduktanz G bestimmt, welcher anschließend mit dem Messwert des Injektionsstromes $i_{h3,meas}$ abgeglichen wird, wodurch die Regeldifferenz des Injektionsstromes $i_{h3,diff}$ als Eingangsgröße für die Regeleinrichtung des Injektionsstromes 11_{h3} ermittelt wird. Deren Ausgangsgröße

den Injektionsstrom i_{h3} zur weiteren Verwendung gemäß obiger Erläuterung darstellt.

[0060] Es ist damit ersichtlich, dass eine Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung 1 sowie ein Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung in jener Weise zur Verfügung gestellt wurde, dass geringe Netzrückwirkungen der Gleichrichterschaltung auftreten und die Gleichrichtung des Ausgangsstromes i_0 bzw. der Ausgangsspannung optimal möglich ist sowie veränderliche Lasten 9 am Ausgang vorgesehen sein können ohne dabei Wirkungsgradverluste in Kauf nehmen zu müssen.

BEZUGSZEICHENLISTE:

1	Gleichrichtanordnung
2	Halbleiterventile
3	netzseitiger Eingang
4	gleichstromseitiger Ausgang
6	aktiv steuerbare Stromquelle
7	Zwischenkreiskapazität
8	Ausgangsanschluss
9	Last
10	schaltbare Steuerelemente
11	Regeleinrichtung
11_{h3}	Regeleinrichtung des Injektionsstromes
12	Filterkondensator
13	Kopplungseinrichtung
14	primäre Wicklung
15	sekundäre Wicklung
16	Drossel
17	Vollbrücke

G	Konduktanz (elektrischer Leitwert)
i_{diff}	Regeldifferenz
i_{h3}	Injektionsstrom
i_{h3^*}	Sollwert des Injektionsstromes
$i_{h3,diff}$	Regeldifferenz des Injektionsstromes
$i_{h3,meas}$	Messwert des Injektionsstromes
i_p	positiver Gleichrichterstrom
i_n	negativer Gleichrichterstrom
i_{p^*}	Sollwert des positiven Gleichrichterstromes
$i_{p,meas}$	Messwert des positiven Gleichrichterstromes
$i_{p,avg}$	Mittelwert des positiven Gleichrichterstromes
$i_{n,avg}$	Mittelwert des negativen Gleichrichterstromes
i_u	Phasenstrom
i_v	Phasenstrom
i_w	Phasenstrom
i_L	Drosselstrom
i_0	Ausgangsstrom

i_{sp} positiver Steuerstrom

i_{sn} negativer Steuerstrom

$i_{sp,avg}$ Mittelwert des positiven Steuerstromes

$i_{sn,avg}$ Mittelwert des negativen Steuerstromes

L_{h3} Induktivität

N_{DC} negative Ausgangsleitung

P_{DC} positive Ausgangsleitung

P_{IN} Eingangsleistung

P_{uh3} Injektionsleistung

$P_o(t)$ zeitlich veränderliche Leistung

S_1 Schaltelement

S_2 Schaltelement

S_3 Schaltelement

S_{g+} IGBT

S_{g-} IGBT

U_N Nennspannung

$U_{N,eff}$ Nennspannungseffektivwert

$U_{N1,eff}$ Nennspannungseffektivwert im ersten Zweig

$U_{N2,eff}$ Nennspannungseffektivwert im zweiten Zweig

$U_{N3,eff}$ Nennspannungseffektivwert im dritten Zweig

U_{rec} gleichgerichtete Spannung

u_{h3} Injektionsspannung

u_p positive Gleichrichterspannung

Patentansprüche

1. Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung (1) von Halbleiterventilen (2), vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei die Gleichrichtanordnung (1) einen dreiphasigen netzseitigen Eingang (3) und einen gleichstromseitigen Ausgang (4) mit zwei Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) mit einem Ausgangsanschluss (8) für eine Last (9) aufweist sowie der netzseitige Eingang (3) mit einem dreiphasigen Drehstromnetz mit einer Nennspannung (U_N) verbunden ist, wobei eine Verbindung zur pulsförmigen Übertragung von einem Injektionsstrom (i_{h3}) vom netzseitigen Eingang (3) zum gleichstromseitigen Ausgang (4) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine aktiv steuerbare Stromquelle (6) angeordnet ist, die einerseits zu jeder Phase am netzseitigen Eingang (3) mit zumindest einem Schaltelement (S_1,S_2,S_3) zuschaltbar ist und andererseits über schaltbare Steuerelemente (10) mit den gleichstromseitigen Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) verbunden ist.

2. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Zwischenkreiskapazität (7) parallel zum gleichstromseitigen Ausgangsanschluss (8) der Gleichrichterschaltung vorgesehen ist, sowie zumindest eine Drossel (16) an einer Verbindung von der Gleichrichtanordnung (1) zum Ausgangsanschluss (8) vorgesehen ist.

3. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass schaltbare Steuerelemente (10), vorzugweise IGBTs, mit je einer der Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) des gleichstromseitigen Ausganges (4) verbunden sind, wobei die aktiv steuerbare Stromquelle (6) einerseits mit den schaltbaren Steuerelementen (2) verbunden ist und andererseits mit den Schaltelementen (S_1,S_2,S_3).

4. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass an einem Ausgangsanschluss (8) des gleichstromseitigen Ausganges (4) eine zeitlich veränderliche Last (9) vorgesehen ist, wobei eine Regeleinrichtung (11) zur lastabhängigen Regelung der aktiv steuerbaren Stromquelle (6) vorgesehen ist.

5. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktiv steuerbare Stromquelle (6) eine Kopplungseinrichtung (13) aufweist, wobei mittels der Kopplungseinrichtung (13) eine Injektionsleistung (P_{uh3}) der aktiv steuerbaren Stromquelle (6) an den Ausgangsanschluss (8) übertragbar ist.

6. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kopplungseinrichtung (13) mittels einer primären Wicklung (14), durchflossen vom Injektionsstrom (i_{h3}) , zu einer gekoppelten sekundären Wicklung (15) ausgeführt ist, wobei die sekundäre Wicklung (15) in einem Brückenzweig einer Vollbrücke (17) aus schaltbaren Steuerelementen (10), vorzugsweise IGBTs, vorgesehen ist und die Vollbrücke (17) parallel zu den Ausgangsanschlüssen (8) verbunden ist sowie zur sekundären Wicklung (15) eine in Serie geschaltete Induktivität (L_{h3}) am Brückenzweig vorgesehen ist.

7. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine der gleichstromseitigen Ausgangsleitungen (P_{DC},N_{DC}) mittels zumindest eines Filterkondensators (12) mit zumindest einem der Schaltelemente (S_1, S_2, S_3) verbunden ist.

8. Gleichrichterschaltung mit Gleichrichtanordnung (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Filterkondensatoren (12) mit den Schaltelementen (S_1, S_2, S_3) verbunden sind, wobei ein dritter Filterkondensator (12) parallel zur Gleichrichtanordnung (1) geschaltet ist.

9. Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung mit einer dreiphasigen Gleichrichtanordnung (1) von Halbleiterventilen, (2), vorzugweise eine Brückengleichrichtanordnung von Dioden, wobei ein Injektionsstrom (i_{h3}) von zumindest einer Phase am netzseitigen Eingang

(3) dem gleichstromseitigen Ausgang (4) zugeführt wird sowie zumindest einer der beiden gleichstromseitigen Gleichrichterströme (i_p,i_n) zumindest teilweise durch eine Drossel (16) geführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Injektionsstrom (i_{h3}) mit einer aktiv steuerbaren Stromquelle (6) in Abhängigkeit der Gleichrichterströme (i_p, i_n) gebildet wird, indem der Injektionsstrom (i_{h3}) im Wesentlichen dreiecksförmig gebildet wird und die gesperrten Anteile der Phasenströme mittels Regelung der aktiv steuerbaren Stromquelle (6) darstellt und der Injektionsstrom (i_{h3}) über steuerbare Schaltelemente (2) den beiden Gleichrichterströmen (i_p, i_n) in Pulsform zugeführt wird.

10. Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Injektionsstrom (i_{h3}) mit zumindest einem von drei Schaltelementen (S_1, S_2, S_3) vom netzseitigen Eingang (3) zum gleichstromseitigen Ausgang (4) zugeschaltet wird, wobei die aktiv steuerbare Stromquelle (6) den Injektionsstrom (i_{h3}) aktiv festlegt.

11. Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Injektionsstrom (i_{h3}) in Abhängigkeit einer Eingangsleistung (P_{IN}) am netzseitigen Eingang (3) der Gleichrichterschaltung geregelt wird.

12. Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl ein negativer Gleichrichterstrom (i_n) als auch ein positiver Gleichrichterstrom (i_p) am gleichstromseitigen Ausgang (4) der Gleichrichtanordnung (1) ermittelt wird, und die Regelung des Injektionsstromes (i_{h3}) mit Hilfe der aus dem negativen Gleichrichterstrom (i_n) und dem positiven Gleichrichterstrom (i_p) ermittelten Eingangsleistung (P_{IN}) der Gleichrichterschaltung am netzseitigen Eingang (3) erfolgt.

13. Verfahren zur Regelung einer Stromquelle (6) nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Konduktanz (G) der Gleichrichterschaltung aus der Eingangsleistung (P_{IN}) und dem Nennspannungseffektivwert ($U_{N,eff}$) berechnet wird, wobei die Konduktanz (G) mittels einer Multiplikation mit einer von der Nennspannung (U_N) vorgegebenen positiven Gleichrichterspannung (u_p) den Sollwert des positiven Gleichrichterstromes (i_p*) bestimmt und auf einen Sollwert des positiven Gleichrichterstromes (i_p*) mittels dem Steuerstrom (i_{h3}) und den schaltbaren Steuerelementen (10) geregelt wird.

14. Verfahren zur Regelung einer Gleichrichterschaltung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Injektionsleistung (P_{uh3}) der aktiv steuerbaren Stromquelle (6) an den Ausgangsanschluss (8) übertragen wird.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

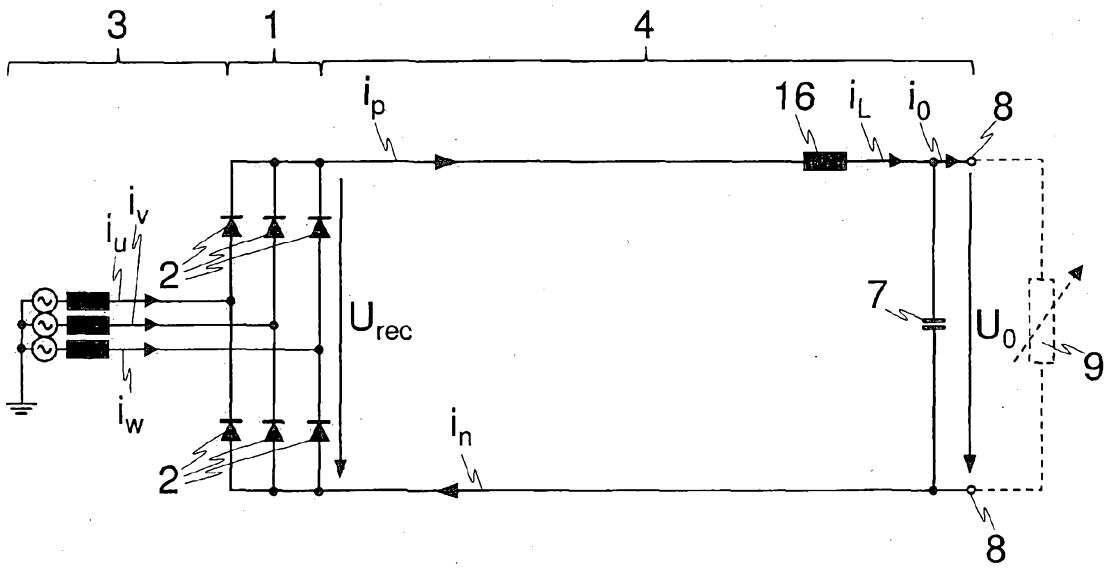
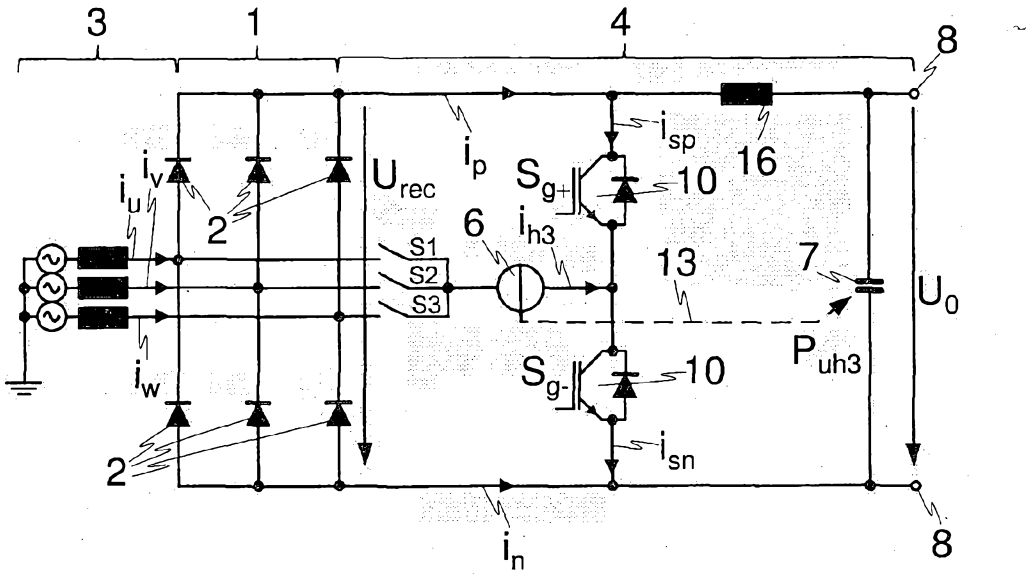

3
1
4
i_p
16
i_L
i_0
8
i_v
i_u
2
U_{rec}
7
U_0
9
i_w
i_n
2
8

Fig. 2


3
1
4
8
i_{sp}
16
i_p
U_{rec}
S_{g+}
10
i_v
i_u
2
6
i_{h3}
S1
S2
S3
13
7
U_0
P_{uh3}
i_w
S_{g-}
10
2
i_{sn}
i_n
8

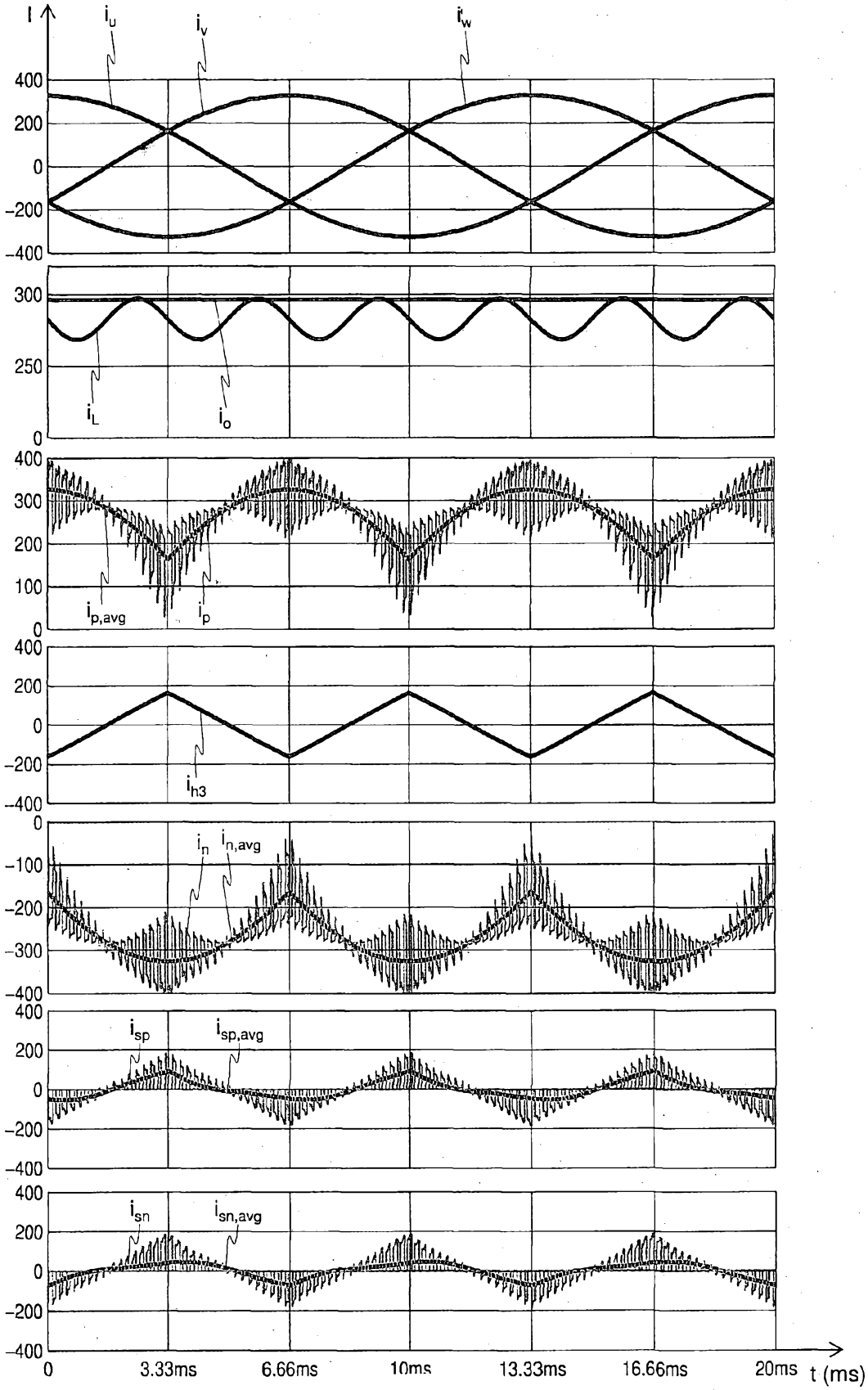


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

Fig. 2d

Fig. 2e

Fig. 2f

Fig. 2g

Fig. 3

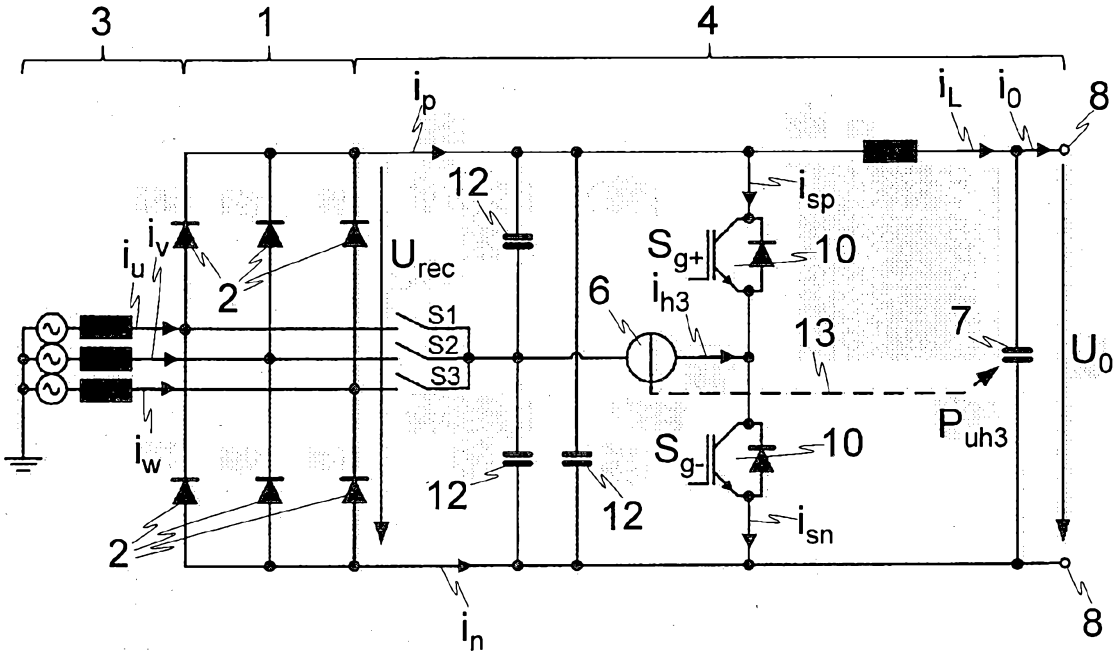


Fig. 4

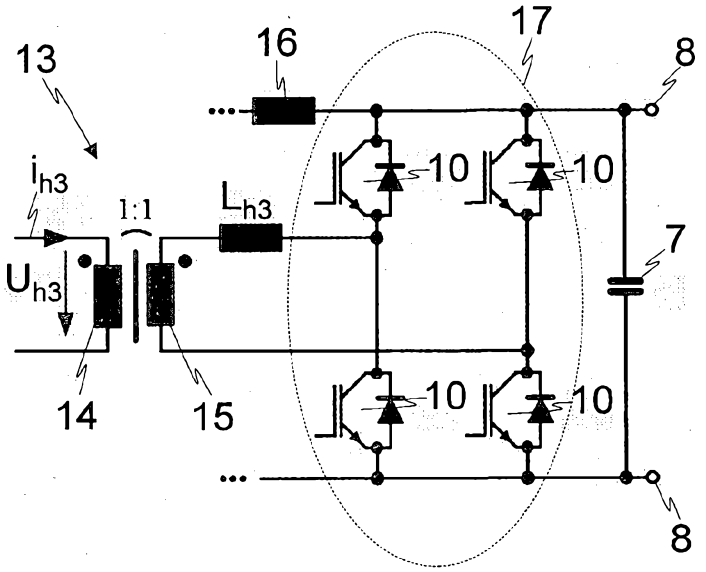


Fig. 5

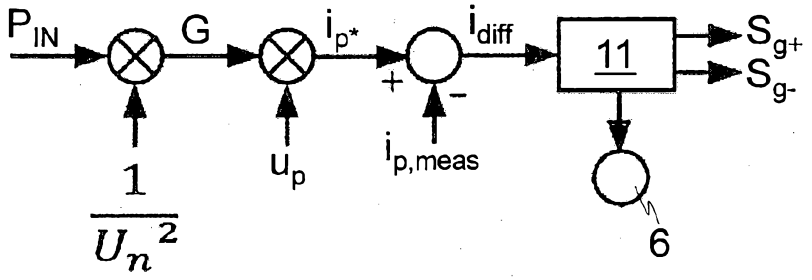
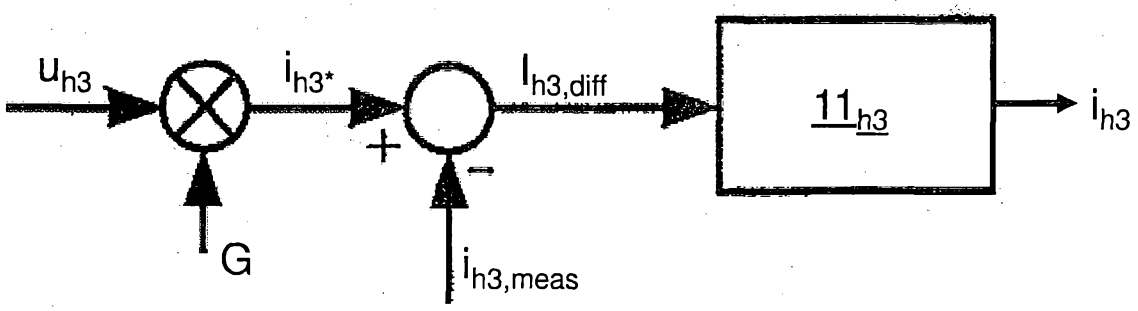



Fig. 6