



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **698 731 B1**

(51) Int. Cl.: **H02M** **1/40** (2007.01)
H03F **3/189** (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01497/05

(73) Inhaber:
ETH Zürich, ETH transfer, Rämistrasse 101
8092 Zürich (CH)

(22) Anmeldedatum: 14.09.2005

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

(24) Patent erteilt: 15.10.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.10.2009

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

(54) **Vorrichtung zur aktiven Unterdrückung leitungsgebundener Gleichtakt- und Gegentaktstöraussendung leistungselektronischer Konverter.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Gleichtakt- und Gegentaktfilterung der Störaussendung leistungselektronischer Konverter. Die Gegentaktfilterkapazität wird diskret ausgeführt und eine planare integrierte Gleich- und Gegentaktfilterinduktivität mit einer aktiven, mittels einer Koppelkapazität, Signalkapazitäten und eines Hochfrequenzverstärkers realisierten Gleichaktfilterkapazität kombiniert. Das den HF-Verstärker steuernde Eingangssignal wird vom Mittelabgriff einer Serienschaltung gleicher, ebenfalls zwischen positiver und negativer Schiene des Filters liegender Signalkondensatoren über ein Notch-Filter abgegriffen, das eine Übersteuerung des Verstärkers bei Einsatz bei Wechsellspannungspeisung vermeidet.

Weiters werden am Ein- und Ausgang des Filters planare Gleichtaktfilterkapazitäten mit Serienwiderständen zur Dämpfung von Schwingungen mit parasitären Netz- bzw. Lastimpedanzen vorgesehen. Die Gegentaktinduktivität wird wie die Gleichtaktinduktivität symmetrisch geteilt in die positive und negative Zuleitung des leistungselektronischen Konverters gelegt und die planaren Wicklungen durch eine magnetisch leitfähige Zwischenschicht getrennt. Weiters ist über der in der positiven Zuleitung liegenden Wicklung und unter der in der negativen Zuleitung liegenden Wicklung je eine magnetisch leitfähige Schicht angeordnet. Der Anschluss beider Wicklungen erfolgt erfindungsgemäss derart, dass für die Mittelschicht nur Gleichtaktströme flussbildend wirken und so nur ein relativ geringer ma-

gnetischer Querschnitt vorzusehen ist. Zusätzlich wird zur Verringerung der parasitären Längskoppelkapazitäten der Gleich- und Gegentaktinduktivität die (geringe) elektrische Leitfähigkeit aufweisende Mittelschicht mit Schutzerde verbunden.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Unterdrückung der Gleichtakt- und Gegentaktstöraussendung eines leistungselektronischen Konverters durch Kombination einer passiven und einer aktiven Filterstufe in planarer Bauweise, wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Stand der Technik

[0002] Der Eingangsstrom leistungselektronischer Konverter weist aufgrund der schaltenden Betriebsweise schaltfrequente Harmonische (Gegentaktströme) auf, weiters treten zufolge der steilen Spannungsänderungen kapazitive Ströme (Gleichtaktströme) gegen (Schutz)Erde auf. Um eine Störung anderer, am selben Netz arbeitender Verbraucher zu vermeiden, sind daher Gegentakt- und Gleichtaktfilter mit Tiefpasscharakteristik vorzusehen, welche gemäss dem Stand der Technik durch Verschaltung diskreter Filterelemente realisiert werden. Dies führt zu einem relativ hohen Fertigungsaufwand, da induktive Bauelemente nicht als Standardkomponenten verfügbar sind und anwendungsspezifisch ausgeführt werden müssen. Die Wicklungen werden hierbei vielfach von Hand auf den Magnetkern aufgebracht, womit hohe Stückkosten und teilweise erhebliche Fertigungstoleranzen resultieren. Weiters sind die Bauformen von Induktivitäten und Kapazitäten stark unterschiedlich und daher eine kompakte Anordnung nur bedingt möglich bzw. treten zwischen den Filterkomponenten parasitäre induktive und kapazitive Kopplungen auf, welche die Filterdämpfung bei hohen Frequenzen verringern.

Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0003] Aufgabe der Erfindung ist daher, eine Vorrichtung zur Unterdrückung von Gleichtakt- und Gegentaktstörungen zu schaffen, welche durch eine planare Kombination spiralförmiger oder rechteckförmiger Windungen, Schirmlagen und magnetischer und dielektrischer Schichten gebildet wird und so eine vollautomatische Fertigung mittels eines Leiterplattenprozesses mit engen Toleranzen erlaubt und ein minimales Bauvolumen aufweist.

[0004] Erfindungsgemäss wird dies durch die Vorrichtung gemäss Patentanspruch 1 erreicht.

[0005] Die planare Realisierung von Induktivitäten und Kapazitäten zeigt bei Forderung nach Verarbeitbarkeit der Materialien mittels eines Leiterplattenprozesses und Verzicht auf magnetische Durchkontaktierungen wesentliche Einschränkungen hinsichtlich der je Flächeneinheit erreichbaren Induktivitäts- und Kapazitätswerte. Erfindungsgemäss wird daher die Gegentaktfilterkapazität diskret ausgeführt und eine planare integrierte Gleich- und Gegentaktfilterinduktivität mit einer aktiven, mittels einer Koppelkapazität und eines Hochfrequenzverstärkers realisierten Gleichaktfilterkapazität kombiniert. Weiters werden am Ein- und Ausgang des Filters planare Gleichaktfilterkapazitäten mit Serienwiderständen zur Dämpfung von Schwingungen mit parasitären Netz- bzw. Lastimpedanzen vorgesehen.

[0006] Durch die Verstärkerschaltung wird die Koppelkapazität als mit der Verstärkung multipliziert für die Gleichtaktstörungsunterdrückung wirksam, womit trotz planarer Ausführung der Koppelkapazität und der Gleichtaktinduktivität, d.h. trotz relativ kleiner Kapazitäts- und Induktivitätswerte eine hinreichend tiefe Knickfrequenz des Gleichaktfilters resultiert. Gleiches gilt für die Gegentaktfilterung, wobei dort, wie vorstehend erwähnt, alternativ zur aktiven Erhöhung einer Kapazität diskrete Kondensatoren (z.B. SMD Keramik Kondensatoren) Einsatz finden. Grundsätzlich können diese Kapazitäten jedoch ebenfalls durch einen integrierten Kondensator und einen HF-Verstärker realisiert werden, wobei der Volumengewinn allerdings relativ gering ist.

[0007] Die Gegentaktinduktivität wird wie die Gleichtaktinduktivität symmetrisch geteilt in die positive und negative Zuleitung des leistungselektronischen Konverters gelegt und erfindungsgemäss integriert, d.h. mittels zweier planarer spiralförmiger oder rechteckförmiger Wicklungen ausgeführt. Beide Wicklungen weisen gleiche Grösse auf und sind durch eine magnetisch leitfähige, bis an den Aussenrand der Wicklungen reichende Zwischenschicht oder Mittelschicht getrennt. Weiters ist über der in der positiven Zuleitung liegenden Wicklung und unter der in der negativen Zuleitung liegenden Wicklung je eine weitere magnetisch leitfähige Schicht (Deckschicht und Basisschicht) angeordnet. Zwischen der Wicklung und den magnetisch leitfähigen Schichten ist – abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit der eingesetzten Magnetmaterialien – eine elektrische Isolation vorgesehen. Der Anschluss beider Wicklungen erfolgt erfindungsgemäss derart, dass ein Gegentaktstrom in beiden Wicklungen im selben Umlaufsinn fliesst, womit für die Mittelschicht nur Gleichtaktströme flussbildend wirken und nur ein relativ geringer magnetischer Querschnitt bzw. eine relativ geringe Schichtdicke vorzusehen ist bzw. eine geringe Gesamtbauhöhe resultiert. Weiters kann ein Magnetmaterial hoher Permeabilität eingesetzt und damit eine relativ hohe Gleichtaktinduktivität erreicht werden.

[0008] Zusätzlich wird zur Verringerung der parasitären Längskoppelkapazitäten der so realisierten Gleich- und Gegentaktinduktivität die (geringe) elektrische Leitfähigkeit aufweisende Mittelschicht mit Schutzterde verbunden. Ist das die Mittelschicht bildende Material nicht hinreichend elektrisch leitend, werden beidseitig elektrische leitfähige Schichten geringer Dicke aufgebracht und diese mit Schutzterde verbunden. Der Abstand der elektrisch leitfähigen Schichten von den integrierten Induktivitäten wird so gewählt, dass die resultierende parasitäre Längskoppelkapazität für den Gleichtakt- oder für den Gegentaktbetrieb einen minimalen Wert annimmt und somit die Filterdämpfung bei hohen Frequenzen nicht beeinträchtigt. Zur Minimierung von Wirbelstromverlusten werden die Mittelschicht oder die an deren Ober- und Unterseite liegenden elektrisch leitfähigen Schichten radial geschlitzt, wobei die einzelnen Abschnitte noch elektrisch leitend zusam-

menhängend mit Erde verbunden bleiben und der Abstand der Schlitze so gewählt wird, dass durch die Wirbelströme eine gewünschte, einem Serienwiderstand entsprechende Dämpfung der Gleichtaktinduktivität resultiert.

[0009] Zur Realisierung von Gleichtaktfilterkapazitäten zwischen den Wicklungsanschlüssen und Schutzterde wird auf der Oberseite der Deckschicht und der Unterseite der Basisschicht elektrisch gegenüber den Schichten isoliert je ein planarer Gleichtaktkondensator, d.h. eine Schichtfolge: Elektrode, Dielektrikum, Elektrode aufgebracht und die unterste Elektrode und die oberste Elektrode der Gesamtanordnung mit Schutzterde verbunden und die an die Deckschicht angrenzende Elektrode über einen Dämpfungswiderstand an die positive Eingangsklemme des Konverters und die an die Basisschicht angrenzende Elektrode über einen gleichen Dämpfungswiderstand an die negative Eingangsklemme des Konverters gelegt. Schliesslich wird die positive und die negative netzseitige Klemme der Filterstruktur an die Serienschaltung von zwei weiteren planaren Koppelkondensatoren gleichen Kapazitätswertes geführt, wobei der Mittenanschluss dieser Serienschaltung an den Ausgang des, eine Spannung gegen Schutzterde bildenden HF-Verstärkers gelegt wird. Das den HF-Verstärker steuernde Eingangssignal wird vom Mittelabgriff einer Serienschaltung gleicher, ebenfalls zwischen positiver und negativer Eingangsklemme liegender Signaleingangskondensatoren über eine Bandsperre (Notch-Filter) abgegriffen, welches beim Einsatz in Wechselspannungsnetzen einen netzfrequenten Anteil der abgegriffenen Spannung unterdrückt und so eine Übersteuerung des HF-Verstärkers durch die Netzwechselspannung vermeidet. Schliesslich ist abzweigend vom Verstärkerausgang eine Rückkopplung gegen den Verstärkereingang gelegt, welche in Kombination mit den eingangsseitigen Signalerfassungsnetzwerk sicherstellt, dass das Auftreten einer Gleichtaktspannung am Mittelanschluss der Signaleingangskondensatoren durch einen, einem aktiven HF-Filter entsprechenden Eingriff des HF-Verstärkers unterbunden wird. Zur Minimierung parasitärer Leitungsinduktivitäten wird hierbei der HF-Verstärker vorteilhaft planar auf der Oberseite oder Unterseite der Gesamtstruktur angeordnet und an der Oberseite mit einer Kühlfläche versehen, wobei zur Verbindung des HF-Verstärkers mit den Kondensatoren und mit Schutzterde Durchkontaktierungen herangezogen werden. Gleiches gilt für die diskreten Gegentaktfilterkondensatoren, welche ebenfalls planar an der Ober- oder Unterseite der Schichtstruktur angereicht werden.

[0010] Weitere Filterelemente können in sinngemäss gleicher Vorgangsweise mit dieser Grundstruktur kombiniert werden und so in Richtung der speisenden Quelle einfach eine weitere integrierte Gleich- und Gegentaktinduktivität und somit gesamt ein mehrstufiges planares Filter realisiert werden. Vorteilhaft wird diese Filterstufe geometrisch unter der Basisschicht und deren planaren Gleichtaktkondensator angeordnet.

[0011] Anzumerken ist, dass anstelle der Erhöhung der Koppelkapazität durch einen Verstärker die integrierte Gleichtaktinduktivität auch durch eine Gleichtaktinduktivität mit explizitem planarem Magnetkern und einer Mehrlagenleiterplattenwicklung realisiert werden kann.

[0012] Eine alternative Ausführungsform der aktiven Unterdrückung der Ausbreitung einer Gleichtaktstörspannung ist die folgende: Anstelle der Signalkondensatoren wird hier eine Gleichtaktstörung durch Signalwicklungen in der integrierten Gleich- und Gegentaktinduktivität erfasst. Es wird in den über und in den unter der Zwischenschicht liegenden Teil der Induktivität je eine spiralförmige Signalwicklung so eingebracht, dass eine gute magnetische Kopplung mit den, den Hauptstrom führenden Wicklungen besteht und die Serienschaltung der Signalwicklungen so vorgenommen, dass für Gleichaktstörströme ein Summenausgangssignal auftritt, das an den Eingang eines HF-Verstärkers geführt wird, der zwei, gleich den Signalwicklungen angeordnete und in Serie geschaltete Kompensationswicklungen so speist, dass das Summenausgangssignal ausgelöscht wird. Eine sinngemäss gleiche Anordnung kann durch Änderung der Verschaltung der Signal- und Kompensationswicklungen auch für Gegentaktströme wirksam ausgeführt werden. Weiters sind eine Signalerfassung mittels Signalkondensatoren und ein Kompensationseingriff des HF-Verstärkers über Kompensationswicklungen oder eine Signalerfassung über Signalwicklungen und ein Kompensationseingriff über Koppelkondensatoren möglich.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Unterdrückung der Gleichtakt- und Gegentaktstöraussendung eines leistungselektronischen Konverters, welche planare Induktivitäten, planare und diskrete Kapazitäten und einen HF-Verstärker aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gegentaktinduktivität und eine Gleichtaktinduktivität symmetrisch geteilt in die positive und negative Zuleitung des leistungselektronischen Konverters gelegt und erfindungsgemäss integriert, also mittels zweier planarer spiral- oder rechteckförmiger Wicklungen ausgeführt sind, wobei beide Wicklungen gleiche Grösse aufweisen, durch eine magnetisch leitfähige, bis an den Aussenrand der Wicklungen reichende Mittelschicht getrennt sind und über der in einer positiven Zuleitung des Konverters liegenden einer negativen Zuleitung des Konverters liegenden Wicklung je eine weitere magnetisch leitfähige Deckschicht und Basisschicht angeordnet ist, wobei zwischen den Wicklungen und den magnetisch leitfähigen Schichten jeweils eine elektrische Isolation vorgesehen ist und der Anschluss beider Wicklungen derart ist, dass ein Gegentaktstrom in beiden Wicklungen im selben Umlaufsinn fliesst, und bei elektrischer Leitfähigkeit der Mittelschicht diese mit einer Schutzterde verbunden ist oder für den Fall zu geringer elektrischer Leitfähigkeit beidseitig elektrische leitfähige Schichten geringer Dicke auf die Mittelschicht aufgebracht und mit Schutzterde verbunden sind,

wobei der Abstand der elektrisch leitfähigen Schichten von den integrierten Induktivitäten so gewählt ist, dass die resultierende parasitäre Längskoppelkapazität der Gleichtaktinduktivität und der Gegentaktinduktivität einen minimalen Wert annimmt und

zur Minimierung von Wirbelstromverlusten die Mittelschicht oder die an deren Ober- und Unterseite liegenden elektrisch leitfähigen Schichten radial geschlitzt sind, wobei die einzelnen Abschnitte noch elektrisch leitend zusammenhängend mit Erde verbunden bleiben und der Abstand der Schlitze so gewählt ist, dass durch die Wirbelströme eine gewünschte, einem Serienwiderstand entsprechende Dämpfung der Gleichtaktinduktivität resultiert

und zur Realisierung von Gleichtaktfilterkapazitäten zwischen den Wicklungsanschlüssen und Schutzterde auf der Oberseite der Deckschicht und auf der Unterseite der Basisschicht elektrisch gegenüber der Deckschicht respektive der Basisschicht isoliert je ein planarer Gleichtaktkondensator, d.h. eine Schichtfolge Elektrode-Dielektrikum-Elektrode aufgebracht ist und

die unterste Elektrode und die oberste Elektrode der Gesamtanordnung mit Schutzterde verbunden sind und

die an die Deckschicht angrenzende Elektrode über einen Dämpfungswiderstand an eine positive Eingangsklemme des Konverters und die an die Basisschicht angrenzende Elektrode über einen gleichen Dämpfungswiderstand an eine negative Eingangsklemme des Konverters gelegt sind und schliesslich eine positive und eine negative netzseitige Klemme der Filterstruktur an die Serienschaltung von zwei weiteren planaren Koppelkondensatoren gleichen Kapazitätswertes geführt sind,

wobei der Mittelanschluss dieser Serienschaltung an den Ausgang eines, eine Spannung gegen Schutzterde bildenden HF-Verstärkers gelegt ist, und ein den HF-Verstärker steuerndes Eingangssignal vom Mittelabgriff einer Serienschaltung gleicher, ebenfalls zwischen positiver und negativer netzseitige Klemme liegender Signaleingangskondensatoren über eine Bandsperre abgegriffen ist,

welches beim Einsatz in Wechselspannungsnetzen einen netzfrequenten Anteil der abgegriffenen Spannung unterdrückt und

schliesslich abzweigend vom Verstärkerausgang eine Rückkopplung gegen den Verstärkereingang angeordnet ist, welche in Kombination mit den eingangsseitigen Signaleingangskondensatoren sicherstellt, dass das Auftreten einer Gleichtaktspannung am Mittenanschluss der Signaleingangskondensatoren durch einen, einem aktiven HF-Filter entsprechenden, Eingriff des HF-Verstärkers unterbunden wird,

wobei der HF-Verstärker planar auf der Oberseite oder planar auf der Unterseite der Gesamtstruktur angeordnet und an der aussen liegenden Seite mit einer Kühlfläche versehen ist, wobei zur Verbindung des HF-Verstärkers mit den Kondensatoren und mit Schutzterde und für die elektrische Anbindung der Gegentaktfilterkondensatoren Durchkontaktierungen vorliegen.