



(10) **DE 10 2012 206 976 B4** 2014.09.25

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 206 976.3**  
(22) Anmeldetag: **26.04.2012**  
(43) Offenlegungstag: **31.10.2013**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **25.09.2014**

(51) Int Cl.: **H05B 37/02 (2006.01)**  
**H02M 1/42 (2007.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**OSRAM GmbH, 80807 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Dilger, Richard, 81549 München, DE; Heckmann, Markus, 81479 München, DE; Rupp, Arnulf, 82041 Oberhaching, DE; Nordhausen, Markus, 81539 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	197 13 814	A1
DE	10 2010 039 154	A1
EP	2 315 497	A1

(54) Bezeichnung: **Schaltwandler zum Betreiben mindestens einer LED**

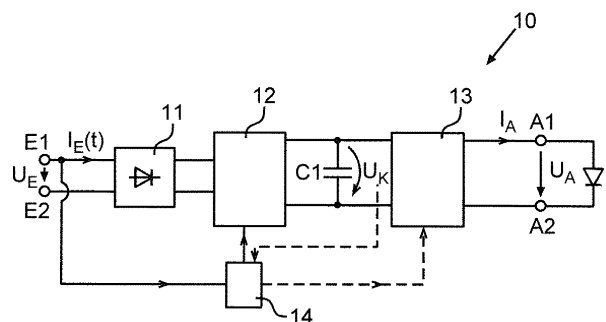
(57) Hauptanspruch: Schaltwandler (10) zum Betreiben mindestens einer LED, aufweisend:

- einen Eingang (E1, E2) mit einem ersten und einem zweiten Eingangsanschluss zum Koppeln mit einer Wechselspannungsquelle;
- einen Ausgang (A1, A2) mit einem ersten und einem zweiten Ausgangsanschluss zum Koppeln mit der mindestens einen LED, wobei am Ausgang (A1, A2) eine Ausgangsgröße bereitstellbar ist;
- einen Gleichrichter (11) mit einem Eingang, der mit dem Eingang (E1, E2) des Schaltwandlers (10) gekoppelt ist, und einem Ausgang;
- ein Eingangsreaktanznetzwerk (12) mit einem Eingang, der mit dem Ausgang des Gleichrichters (11) gekoppelt ist, und einem Ausgang, wobei das Eingangsreaktanznetzwerk (12) mindestens einen ersten steuerbaren elektronischen Schalter umfasst;
- einen kapazitiven Energiespeicher (C1), der mit dem Ausgang des Eingangsreaktanznetzwerks (12) gekoppelt ist;
- mindestens eine erste elektronische Regelschaltung, mittels welcher der Schaltwandler (10) durch entsprechende Ansteuerung des elektronischen Schalters an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) regelbar ist;

dadurch gekennzeichnet, dass

die mindestens eine erste Regelschaltung derart ausgebildet ist, dass der Schaltwandler (10) an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) regelbar ist, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf Spektralanteile aufweist bei einer Grundfrequenz einer Grundschwingung mit einer Grundamplitude und bei einer Frequenz mindestens einer Oberschwingung mit einer vor-

gebbaren Amplitude, wobei die mindestens eine Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung geht aus von einem Schaltwandler nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

## Stand der Technik

**[0002]** Zum Betreiben von LEDs oder LED-Strängen mit einer Netzspannung, üblicherweise einer sinusförmige Wechselspannung mit einem Effektivwert von 230 V, sind Strom- und Spannungswandlungen erforderlich, um einen Strom mit möglichst konstanter Stromstärke bereitzustellen. Im Stand der Technik sind Schaltungsanordnungen zum Betreiben von LEDs bekannt, die zwei Spannungswandler umfassen, wobei der erste Spannungswandler, insbesondere ein Aufwärtswandler, und der zweite Spannungswandler über einen Zwischenkreiskondensator miteinander gekoppelt sind. Zum Gleichrichten der Wechselspannung ist vor den ersten Spannungswandler ein Gleichrichter geschaltet. Der erste Spannungswandler ist in der Regel als Leistungsfaktor-korrekturschaltung ausgebildet, die den Eingangsstrom und die Eingangsspannung synchronisiert, da insbesondere bei Leistungen ab 25 W vorgegebene Richtlinien bezüglich der Netzstromoberschwingungen zu erfüllen sind. Bei geeigneter Dimensionierung des Zwischenkreiskondensators ist die über den Zwischenkreiskondensator in den zweiten Spannungswandler eingekoppelte Leistung in ihrem zeitlichen Verlauf nahezu konstant. Als Zwischenkreiskondensator wird bevorzugt ein Elektrolytkondensator mit einer möglichst großen Kapazität verwendet, um eine möglichst gute möglichst gute Glättung der Spannung und der Leistung zu ermöglichen. Der zweite Spannungswandler wandelt die Spannung derart, dass die mit dem Ausgang des Spannungswandlers gekoppelten LEDs mit einem Strom möglichst konstanter Stromstärke versorgt werden können. Dabei ist der zweite Spannungswandler in der Regel als Abwärtswandler ausgebildet, da zum Betreiben einer LED meist nur eine kleine Spannung erforderlich ist.

**[0003]** Aus der DE 197 13 814 A1 ist ein Schaltregler mit einer Leistungsfaktorkorrektur bekannt, der auf eine vorbestimmte Ausgangsspannung und auf eine vorbestimmte Zwischenkreisspannung geregelt wird.

**[0004]** Aus der EP 2 315 497 A1 ist eine LED Treiberschaltung mit einer Leistungsfaktorkorrektur, einem Elektrolyt-Zwischenkreiskondensator und einem linearen Gleichspannungswandler bekannt.

**[0005]** Aus der DE 10 2010 039 154 A1 ist eine Leistungsfaktorkorrekturschaltung bekannt, die im Gleichstrombetrieb eine lastabhängig veränderliche Stromaufnahme aufweist.

**[0006]** Nachteilig bei derartigen Schaltungsanordnungen ist, dass die dafür benötigten Elektrolytkondensatoren für den Zwischenkreis eine relativ geringe Lebensdauer aufweisen, was die Lebensdauer der gesamten Schaltungsanordnung mindert.

## Darstellung der Erfindung

**[0007]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Schaltwandler zum Betreiben mindestens einer LED bereitzustellen, der eine höhere Lebensdauer aufweist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch einen Schaltwandler mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

**[0009]** Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

**[0010]** Der erfindungsgemäße Schaltwandler zum Betreiben mindestens einer LED umfasst einen Eingang mit einem ersten und einem zweiten Eingangsanschluss zum Koppeln mit einer Wechselspannungsquelle, einen Ausgang mit einem ersten und einem zweiten Ausgangsanschluss zum Koppeln mit der mindestens einen LED, wobei am Ausgang eine Ausgangsgröße bereitstellbar ist, und einen Gleichrichter mit einem Eingang, der mit dem Eingang des Schaltwandlers gekoppelt ist, und einem Ausgang. Des Weiteren umfasst der Schaltwandler ein Eingangsreaktanznetzwerk mit einem Eingang, der mit dem Ausgang des Gleichrichters gekoppelt ist und einem Ausgang, wobei das Eingangsreaktanznetzwerk mindestens einen ersten steuerbaren elektronischen Schalter umfasst. Weiterhin weist der Schaltwandler einen kapazitiven Energiespeicher auf, der mit dem Ausgang des Eingangsreaktanznetzwerks gekoppelt ist, und mindestens eine erste elektronische Regelschaltung, mittels welcher der Schaltwandler an seinem Eingang auf einen Sollwert des Eingangsstroms regelbar ist. Dabei ist die mindestens eine erste Regelschaltung derart ausgebildet, dass der Schaltwandler an seinem Eingang auf einen Sollwert des Eingangsstroms regelbar ist, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf Spektralanteile aufweist bei einer Grundfrequenz einer Grundschwingung mit einer Grundamplitude und bei mindestens einer Frequenz mindestens einer Oberschwingung mit einer vorgebbaren Amplitude, wobei die mindestens eine Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

**[0011]** Durch eine derartige Ausbildung der mindestens einen ersten Regelschaltung ist es möglich den Eingangsstrom harmonisch zu verzerren. Dabei können zur Bewerkstelligung einer gewünschten harmonischen Verzerrung die Amplituden der Oberschwingungen vorgegeben werden. Bevorzugt werden dabei die Amplituden so vorgegeben, dass eine Leistung, die vom Eingangsreaktanznetzwerk in den ka-

pazitiven Energiespeicher eingespeist wird, in ihrem zeitlichen Verlauf maximal gleichmäßig ist. Durch die harmonische Verzerrung der Leistung muss weniger Energie vom kapazitiven Energiespeicher über eine halbe Periode bezogen auf die Periodendauer der Grundfrequenz gespeichert werden. Dadurch ist es möglich den kapazitiven Energiespeicher mit einer kleineren Kapazität auszugestalten als bei einer unverzerrten Leistungseinkopplung. Dies stellt die Möglichkeit bereit als kapazitiven Energiespeicher andere Kondensatoren mit kleinerer Kapazität und höherer Lebensdauer zu verwenden als die üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren. So kann durch die Verwendung von Kondensatoren mit kleinerer Kapazität und höherer Lebensdauer die Lebensdauer des gesamten Schaltwandlers erhöht werden.

**[0012]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist mittels der Regelschaltung der Schaltwandler auf einen zeitlich variierenden Sollwert des Eingangsstroms regelbar, der Spektralanteile aufweist bei Frequenzen von mehreren Oberschwingungen mit jeweils einer vorgebbaren Amplitude, wobei die Frequenzen ungeradzahlig Vielfache der Grundfrequenz sind. Durch Oberschwingungen mit der 3-fachen, 5-fachen, 7-fachen, usw. Frequenz der Grundfrequenz lässt sich eine Leistung, die vom Eingangsreaktanznetzwerk in den kapazitiven Energiespeicher eingespeist wird, generieren die derart harmonisch verzerrt ist, dass ihr zeitlicher Verlauf maximal gleichmäßig ist, d. h. dass sich die Abweichung der Leistung vom zeitlichen Mittelwert der Leistung im Betrag und im zeitlichen Mittel reduziert gegenüber einer Leistungsfaktor korrigierten Leistung, die proportional dem Quadrat einer Sinusschwingung ist, wie im Stand der Technik üblich.

**[0013]** Des Weiteren sind die Amplituden der Oberschwingungen mit Frequenzen bis zum 49-fachen der Grundfrequenz vorgebar.

**[0014]** Bevorzugt ist die Eingangsspannung eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz ist, wobei die erste Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Schaltwandler an seinem Eingang auf einen Sollwert des Eingangsstroms zu regeln, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf eine Grundschwingung mit derselben Frequenz wie die der Eingangsspannung aufweist.

**[0015]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die erste Regelschaltung dazu ausgebildet, den Schaltwandler an seinem Eingang auf einen Sollwert des Eingangsstroms zu regeln, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf eine Grundschwingung aufweist, die keine Phasenverschiebung gegenüber der Eingangsspannung aufweist.

**[0016]** Weiterhin können die Oberschwingungen des Eingangsstroms eine beliebige Phasenverschiebung gegenüber der Grundschwingung aufweisen. Insbesondere kann die Regelschaltung auch dazu ausgebildet sein, den Schaltwandler auf einen Eingangsstrom zu regeln, die Oberschwingungen mit einer vorgebbaren Phasenverschiebung gegenüber der Grundschwingung aufweisen. Die Phasenverschiebungen können dabei so vorgegeben werden, dass die vom Eingangsreaktanznetzwerk abgegebene Leistung in ihrem zeitlichen Verlauf noch gleichmäßiger ist, insbesondere so, dass die Kapazität des kapazitiven Energiespeichers weiter reduziert werden kann.

**[0017]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die vorgebbare Amplitude der mindestens einen Oberschwingung kleiner oder gleich der durch eine Verzerrungsnorm für eine Netzstromentnahme vorgegebenen Amplitude. Da in der Regel ab einer Leistungsentnahme aus dem Stromnetz ab etwa 25 W strengere Vorgaben bezüglich der harmonischen Verzerrung, insbesondere bezüglich der Amplituden von Oberschwingungen des Eingangsstroms vorliegen, ist es vorgesehen die vorgebbaren Amplituden noch im Bereich der zulässigen Amplituden zu wählen, und bevorzugt möglichst nahe an den maximal zulässigen Amplituden.

**[0018]** Weiterhin kann der Schaltwandler ein Ausgangsreaktanznetzwerk mit einem Eingang, der mit dem kapazitiven Energiespeicher gekoppelt ist, aufweisen, und einem Ausgang zum Koppeln mit der mindestens einen LED, wobei das Ausgangsreaktanznetzwerk mindestens einen zweiten steuerbaren elektronischen Schalter umfasst.

**[0019]** Bevorzugt umfasst der Schaltwandler mindestens eine zweite Regelschaltung, mittels welcher der Schaltwandler auf eine Ausgangsgröße regelbar ist.

**[0020]** So kann der Schaltwandler vorteilhafterweise mittels der zweiten Regelschaltung auf eine gewünschte Ausgangsspannung oder einen gewünschten Ausgangsstrom geregelt werden.

**[0021]** Bevorzugt ist die Ausgangsgröße ein Ausgangsstrom, da für das Betreiben von LEDs ein möglichst glatter Gleichstrom vorteilhaft ist.

**[0022]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die mindestens eine zweite Regelschaltung dazu ausgebildet, den Schaltwandler auf eine Ausgangsgröße zu regeln in Abhängigkeit eines Momentanwerts einer über dem kapazitiven Energiespeicher abgreifbaren Spannung. Da durch die Verwendung eines kapazitiven Energiespeichers mit einer kleineren Kapazität die am kapazitiven Energiespeicher abgreifbare Spannung eine größere Wellig-

keit aufweist ist es vorteilhaft, die zweite Regelschaltung derart auszubilden, dass bei der Regelung auf eine Ausgangsgröße, insbesondere einen Ausgangsstrom der zeitliche Verlauf der am kapazitiven Energiespeicher abgreifbaren Spannung berücksichtigt wird und nicht nur deren zeitlicher Mittelwert. Durch eine derartige Ausbildung der zweiten Regelschaltung ist es möglich, trotz großer Welligkeit der am Ausgangsreaktanznetzwerk anliegenden Spannung auf einen Ausgangsstrom zu regeln, der zeitlich nahezu konstant ist.

**[0023]** Weiterhin kann das Eingangsreaktanznetzwerk als Aufwärtswandler ausgebildet sein. Darüber hinaus kann das Ausgangsreaktanznetzwerk als Abwärtswandler ausgebildet sein.

**[0024]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der kapazitive Energiespeicher ein Keramik-kondensator oder ein Folienkondensator. Keramik-kondensatoren und Folienkondensatoren weisen eine vergleichsweise hohe Lebensdauer auf und sind weiterhin für eine große Welligkeit der anliegenden Spannung ausgebildet, während Elektrolytkondensatoren für eine derart große Welligkeit nicht ausgelegt sind.

**[0025]** Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn die Kapazität des Keramik-kondensators oder des Folien-kondensators derart bemessen ist, dass eine am Keramik-kondensator oder Folienkondensator abgreifbare Spannung eine Spannungswelligkeit aufweist, die größer ist als 30% des Maximalwerts der am Eingang des Schaltwandlers anliegenden Eingangsspannung. Somit kann durch die Erhöhung der Zwischenkreisspannung, insbesondere durch die größere Welligkeit der Spannung am Kondensator, und mit einem Keramik- oder Folienkondensator kleinerer Kapazität die gleiche Energie gespeichert werden, wie mit einem Elektrolytkondensator großer Kapazität und kleiner Zwischenkreisspannung. Vorteilhafterweise kann die Welligkeit der vom Kondensator an das Ausgangsreaktanznetzwerk bereitgestellten Spannung größer als 100 Volt, insbesondere größer als 200 Volt, sein. Üblicherweise beträgt die Welligkeit der Spannung im Stand der Technik ca. 60 V, da ein Elektrolytkondensator keine größere Welligkeit der Spannung verträgt, wodurch eine größere Kapazität erforderlich ist. Durch die Verwendung von Keramik-kondensatoren oder Folienkondensatoren, die eine deutlich größere Welligkeit vertragen, kann so bei kleinerer Kapazität und größerer Zwischenkreisspannung die gleiche Energie im Kondensator gespeichert werden.

**[0026]** Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die Kapazität des Keramik-kondensators oder Folienkondensators derart bemessen ist, dass der Momentanwert der am Keramik-kondensator oder Folienkondensator abgreifbaren Spannung größer ist als der Momentan-

wert der am Eingang des Schaltwandlers anliegenden Spannung. Dies gewährleistet, dass das System aus Eingangsreaktanznetzwerk, Regelschaltung und kapazitivem Energiespeicher in Verbindung mit den Schaltaktionen des mindestens einen aktiven Schalters der Aufgabe der echtzeittreuen Regelung des Schaltwandlers auf seinen Eingangsstrom gerecht wird und dass das System stabil ist und gleichzeitig nicht an seine durch das Schaltwandlerprinzip gegebenen Grenzen stößt.

**[0027]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen sowie anhand der Zeichnungen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0028]** Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Figuren zeigen:

**[0029]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Schaltwandlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0030]** Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Messdiagramms der am Kondensator abgreifbaren Kondensatorspannung und des am Ausgang des Schaltwandlers bereitgestellten Ausgangsstroms gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0031]** Fig. 3 eine graphische Darstellung einer von einem Eingangsreaktanznetzwerk an einen Kondensator abgegebenen Leistung ohne harmonische Verzerrung;

**[0032]** Fig. 4a eine graphische Darstellung eines harmonisch verzerrten Eingangsstroms gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0033]** Fig. 4b eine graphische Darstellung der vom Eingangsreaktanznetzwerk entsprechend der Stromstärke aus Fig. 4a harmonisch verzerrten, abgegebenen Leistung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0034]** Fig. 5a eine graphische Darstellung eines weiteren harmonisch verzerrten Eingangsstroms gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

**[0035]** Fig. 5b eine graphische Darstellung der vom Eingangsreaktanznetzwerk entsprechend der Stromstärke aus Fig. 5a harmonisch verzerrten, abgegebenen Leistung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

## Bevorzugte Ausführung der Erfindung

**[0036]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Schaltwandlers **10** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dieser umfasst ein Eingangsreaktanznetzwerk **12**, das über einen kapazitiven Energiespeicher C1 mit einem Ausgangsreaktanznetzwerk **13** gekoppelt ist. Am Eingang E1, E2 des Schaltwandlers **10** kann eine sinusförmige Wechselspannung anliegen, insbesondere mit 230 V Effektivspannung, die durch einen Gleichrichter **11** gleichgerichtet wird. Das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** kann dabei als Abwärtswandler, insbesondere als Buck-Converter, ausgebildet sein, so dass eine für den Betrieb mindestens einer LED geeignete Ausgangsspannung  $U_A$  am Ausgang A1, A2 des Schaltwandlers bereitstellbar ist. Das Eingangsreaktanznetzwerk **12** kann als Aufwärtswandler ausgebildet sein, insbesondere als Boost-Converter, wodurch die Spannung hochgesetzt werden kann, so dass die am kapazitiven Energiespeicher C1 abgreifbare Spannung  $U_K$  größer ist als die am Eingang E1, E2 anliegende Eingangsspannung  $U_E$ . Weiterhin ist der kapazitive Energiespeicher C1 so bemessen, dass die zeitlich periodisch variierende, vom Eingangsreaktanznetzwerk **12** entnommene Leistung  $P(t)$  durch Energiespeicherung im kapazitiven Energiespeicher C1 als zeitlich möglichst konstante Leistung  $P_0$  in das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** einkoppelbar ist. Weiterhin kann der Schaltwandler **10** eine elektronische Regelschaltung umfassen, mittels welcher der Schaltwandler **10** auf einen Sollwert des Eingangsstroms  $I_E(t)$  regelbar ist. Durch entsprechende Ansteuerung eines elektronischen Schalters durch eine Ansteuerschaltung **14** ist der Eingangsstrom  $I_E(t)$  derart regelbar, dass er eine Grundschwingung der selben Frequenz wie die der Eingangsspannung  $U_E$  und Oberschwingungen mit ganzzahligen Vielfachen, insbesondere ungeradzahlig Vielfachen, dieser Frequenz und vorgebbaren Amplitude aufweist. Durch diese harmonische Verzerrung des Eingangsstroms  $I_E(t)$  und somit auch der dem Eingangsreaktanznetzwerk **12** entnehmbaren Leistung  $P(t)$  kann die Abweichung der Leistung  $P(t)$  vom zeitlichen Mittelwert der Leistung  $P_0$  im Betrag im zeitlichen Mittel reduziert werden gegenüber einer Leistung  $P(t)$ , die proportional zum Quadrat einer Sinusschwingung ist. Vortrefflicherweise kann durch diese Ausgestaltung der Erfindung bewerkstelligt werden, dass weniger Energie E während einer halben Periodendauer  $T/2$  bezüglich der Periodendauer T der Grundschwingung vom kapazitiven Energiespeicher C1 gespeichert werden muss und der kapazitive Energiespeicher C1 mit einer wesentlich kleineren Kapazität ausgestaltet werden kann. Als kapazitiver Energiespeicher C1 kann beispielsweise ein Keramikkondensator oder Folienkondensator mit kleinerer Kapazität C als im Stand der Technik üblich verwendet werden, welche eine Vielzahl an Vorzügen gegenüber den üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren zeigen. Vor-

teilhafterweise sind Keramik- und Folienkondensatoren für eine wesentlich größere Spannungswelligkeit  $\Delta U$  ausgelegt, was die Möglichkeit bereitstellt, durch Erhöhung der Zwischenkreisspannung die Kapazität des Keramikkondensators oder Folienkondensators weiter zu verkleinern. Dies ist dadurch bedingt, dass die Energie E, die vom kapazitiven Energiespeicher C1 gespeichert werden kann, gemäß  $E = 0,5 C_1 U_K^2$  zum Einen von der Kapazität des kapazitiven Energiespeichers C1 abhängt und zum Anderen von der am kapazitiven Energiespeicher C1 anliegenden Spannung  $U_K$ . Entsprechend kann mit einer kleineren Kapazität des kapazitiven Energiespeichers C1 und gleichzeitiger entsprechender Erhöhung der Zwischenkreisspannung die gleiche Energie E gespeichert werden, wie mit einem kapazitiven Energiespeicher C1 größerer Kapazität und kleinerer Zwischenkreisspannung. Ein weiterer sehr bedeutender Aspekt ist darüber hinaus, dass ein Keramikkondensator oder Folienkondensator eine wesentlich höhere Lebensdauer aufweist als ein Elektrolytkondensator, wodurch sich die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit des gesamten Schaltwandlers **10** erhöht, da der kapazitive Energiespeicher C1 das Lebensdauer bestimmende Element ist.

**[0037]** Bei der Verwendung eines Keramikkondensators oder Folienkondensators mit kleiner Kapazität C weist die vom kapazitiven Energiespeicher C1 an das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** bereitgestellte Kondensatorspannung  $U_K$  eine entsprechend größere Spannungswelligkeit  $\Delta U$  auf. Dementsprechend ist das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** dazu ausgebildet, eine derartige Spannungswelligkeit  $\Delta U$  zu kompensieren. Dafür kann eine zweite Regelschaltung vorgesehen sein, die einen nahezu konstanten Ausgangsstrom  $I_A$  am Ausgang A1, A2 der Schaltungsanordnung **10** bereitstellt.

**[0038]** beispielsweise kann das Ausgangsreaktanznetzwerk einen aktiven Schalter umfassen, insbesondere einen steuerbaren elektronischen Schalter. Die erste und zweite Regelschaltung können auch als eine einzige Regelschaltung ausgebildet sein, insbesondere kann diese derart ausgebildet sein, dass durch diese eine Regelschaltung zwei unterschiedliche und voneinander unabhängige Regelaufgaben gelöst werden können. Weiterhin wird die Möglichkeit bereitgestellt, das Ein- und Ausgangsreaktanznetzwerk **12**, **13** zusammen als Cuk-Wandler auszubilden, insbesondere kann die Regelung auf einen Eingangsstrom  $I_E(t)$  und einen Ausgangsstrom  $I_A$  des Schaltwandlers **10** durch Ansteuerung nur eines steuerbaren elektronischen Schalters mittels der Ansteuerschaltung **14** erfolgen. Eine weitere sehr vorteilhafte Möglichkeit ist es, die Regelung des Schaltwandlers **10** auf einen Eingangsstrom  $I_E(t)$  und einen Ausgangsstrom  $I_A$  durch zwei steuerbare elektronische Schalter zu realisieren, wobei vorzugsweise das Eingangs- und Ausgangsreaktanznetzwerk **12**, **13** je-

weils einen aktiven Schalter umfassen. Auch diese beiden Schalter können durch die Ansteuerschaltung **14** angesteuert werden. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann dabei die Ansteuerung des zweiten Schalters in Abhängigkeit von der am kapazitiven Energiespeicher C1 abgreifbaren Spannung  $U_K$  erfolgen, und zwar nicht nur in Abhängigkeit des zeitlichen Mittelwerts dieser Spannung  $U_K$ , wie im Stand der Technik üblich, sondern auch unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Spannung  $U_K$ , d. h. in Abhängigkeit eines Momentanwerts der am kapazitiven Energiespeicher C1 abgreifbaren Spannung  $U_K$ . Durch diese besonders vorteilhafte Ausgestaltung ist es möglich, einen Ausgangsstrom  $I_A$  bereitzustellen, der eine Stromwelligkeit  $\Delta I$  aufweist, die kleiner ist als 10% des Maximalwerts des Ausgangsstroms  $I_A$ .

**[0039]** Darüber hinaus kann als weitere Ausgestaltungsvariante vorgesehen sein, den Boost-Converter als Leistungsfaktorkorrekturschaltung auszubilden, insbesondere so, dass eine Verzerrungsnorm bezüglich der Netzstromentnahme eingehalten wird. Außerdem ist es besonders erwähnenswert, dass die Effizienz eines derartigen Schaltwandlers **10** bei mindestens 80%–86% liegt, insbesondere auch darüber, was einer im Stand der Technik üblichen Effizienz entspricht. Dies ist insofern bemerkenswert, als trotz der größeren Spannungswelligkeit  $\Delta U$  keine signifikanten Verluste durch Mehrbelastung der Schaltungskomponenten, insbesondere von Halbleiterelementen, auftreten. Dies ist unter anderem auf einen weiteren Vorteil der Verwendung eines Keramik Kondensators oder eines Folienkondensators zurückzuführen, da an einem Keramik Kondensator oder Folienkondensator weniger Verluste aufgrund der kleineren Kapazität und des kleineren Widerstands zu verzeichnen sind, wobei die Möglichkeit der Verwendung einer kleineren Kapazität erst durch die beschriebenen erfindungsgemäßen Maßnahmen bereitgestellt wird.

**[0040]** Zur Veranschaulichung, wie sich die Verwendung eines Keramik Kondensators mit einer kleinen Kapazität als Zwischenkreiskondensator auswirkt, ist in **Fig. 2** ein Messdiagramm des zeitlichen Verlaufs der vom kapazitiven Energiespeicher C1 bereitgestellten Kondensatorspannung  $U_K$  und des vom Ausgangsreaktanznetzwerk **13** bereitgestellten Ausgangsstroms  $I_A$  eines Schaltwandlers **10** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Weiterhin ist in **Fig. 2** die am Eingang des Eingangsreaktanznetzwerks **12**, das als Boost-Converter, insbesondere als Leistungsfaktorkorrekturschaltung, ausgebildet ist, anliegende gleichgerichtete Wechselspannung  $U_G$  in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. In diesem Beispiel hat die am Eingang E1, E2 des Schaltwandlers **10** anliegende Eingangsspannung  $U_E$  eine Frequenz von 50 Hz. Wie zu sehen ist, weist die Kondensatorspannung  $U_K$

des kapazitiven Energiespeichers C1 eine sehr große Spannungswelligkeit  $\Delta U$  von ca. 300 V auf, was mehr als 90% des Maximalwerts der am Eingang E1, E2 anliegenden Eingangsspannung  $U_E$  ist. Dies wird erst durch die Verwendung eines Keramik Kondensators oder Folienkondensators als Zwischenkreiskondensator ermöglicht, da die üblicherweise verwendeten Elektrolytkondensatoren für eine derartig große Spannungswelligkeit nicht ausgelegt sind. Des Weiteren ist der Ausgangsstrom  $I_A$  des Schaltwandlers **10** in seinem zeitlichen Verlauf dargestellt. Wie zu sehen ist, kann das Ausgangsreaktanznetzwerk **13**, insbesondere die zweite Regelschaltung, die große Spannungswelligkeit  $\Delta U$  relativ gut kompensieren, so dass der Ausgangsstrom  $I_A$  nur eine kleine Stromwelligkeit  $\Delta I$  von ca. 40 mA aufweist, was in etwa 10% des Maximalwerts des Ausgangsstroms  $I_A$  entspricht. Dies wird erst dadurch ermöglicht, dass die Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Ausgangsstrom  $I_A$  unter Berücksichtigung des zeitlichen Momentanwerts der am Kondensator abgreifbaren Kondensatorspannung  $U_K$  zu regeln, wodurch es ermöglicht wird, einen relativ konstanten Ausgangsstrom  $I_A$ , z. B. zum Betreiben von LEDs, bereitzustellen.

**[0041]** **Fig. 3** zeigt eine graphische Darstellung einer von einem Eingangsreaktanznetzwerk **12** abgegebenen Leistung  $P(t)$  ohne harmonische Verzerrung. Der zeitliche Verlauf der Leistung  $P(t)$  entspricht dabei  $P(t) = 2P_0 \sin^2(\omega t)$ , was durch Ausbildung des Eingangsreaktanznetzwerks als Leistungskorrekturschaltung, wie im Stand der Technik üblich, bewerkstelligt werden kann. Die in das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** einzukoppelnde mittlere Leistung ist dabei  $P_0$ . Um eine zeitlich möglichst konstante Leistung in das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** einkoppeln zu können, muss vom kapazitiven Energiespeicher C1 über eine halbe Schwingungsperiode  $T/2$  hinweg eine Energie  $E$  gespeichert werden, die den schraffierten Flächen in **Fig. 3** entspricht.

**[0042]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nun vorgesehen, die Kapazität des kapazitiven Energiespeichers C1 verkleinern zu können, indem die erste Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Eingangsstrom  $I_E(t)$  und somit die vom Eingangsreaktanznetzwerk **12** abgegebene Leistung  $P(t)$  harmonisch zu verzerren. Derartig verzerrte Eingangsströme  $I_E(t)$  und Leistungen  $P(t)$  sind in den **Fig. 4a** bis **Fig. 5b** dargestellt.

**[0043]** **Fig. 4a** zeigt eine graphische Darstellung eines harmonisch verzerrten Eingangsstroms  $I_E(t)$ . Die zugehörige harmonisch verzerrte Leistung  $P(t)$  ist in **Fig. 4b** dargestellt. In diesem Beispiel beträgt die mittlere in das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** einzukoppelnde Leistung  $P_0$  25 W bei einer sinusförmigen Wechselspannung mit einem Effektivwert von 230 V als Eingangsspannung  $U_E$ . Die vom kapazitiven Energiespeicher C1 zu speichernde Energie  $E$

ist wiederum durch die schraffierten Flächen dargestellt. Durch die harmonische Verzerrung sind diese Flächen, also die vom kapazitiven Energiespeicher C1 zu speichernde Energie E, viel kleiner als bei der in **Fig. 3** dargestellten nicht verzerrten Leistung  $P(t)$ . In diesem Beispiel wurde der Eingangsstrom  $I_E(t)$  durch entsprechende Ausbildung der ersten Regelschaltung so verzerrt, dass die Bestimmungen der Klasse C der Netzstrom-Verzerrungsnorm bezüglich der Amplitudenanteile der höheren Harmonischen noch erfüllt sind. Insbesondere wurden dabei die vorgebbaren Amplituden der Oberschwingungen so gewählt, dass sie den maximal zulässigen Amplituden dieser Netzstrom-Verzerrungsnorm entsprechen und weiterhin wurden dabei nur die Amplituden bis zur 11. Oberschwingung vorgegeben. Des Weiteren weisen die Oberschwingungen in diesem Beispiel keine Phasenverschiebung gegenüber der Grundschwingung des Eingangsstroms  $I_E(t)$  auf. Der erfindungsgemäße Schaltwandler **10** stellt jedoch besonders vorteilhafterweise noch zusätzlich die Möglichkeit bereit, den Eingangsstrom  $I_E(t)$  des Schaltwandlers **10** derart zu regeln, dass die Oberschwingungen eine Phasenverschiebung zueinander und auch gegenüber der Grundschwingung aufweisen. So können auf besonders geschickte Weise diese ebenfalls vorgebbaren Phasenverschiebungen dazu genutzt werden, den Eingangsstrom  $I_E(t)$  und somit auch die von Eingangsreaktanznetzwerk **12** abgegebene Leistung  $P(t)$  derart zu modifizieren, dass der kapazitive Energiespeicher C1 noch weiter in seiner Größe reduziert werden kann.

**[0044]** **Fig. 5a** zeigt eine graphische Darstellung einer weiteren harmonisch verzerrten Stromstärke  $I_E(t)$  und **Fig. 5b** eine graphische Darstellung der vom Eingangsreaktanznetzwerk **12** entsprechend des Eingangsstroms  $I_E(t)$  aus **Fig. 5a** harmonisch verzerrten, abgegebenen Leistung  $P(t)$ . In diesem Beispiel beträgt die mittlere in das Ausgangsreaktanznetzwerk **13** einzukoppelnde Leistung  $P_0$  wiederum 25 W bei einer sinusförmigen Wechselspannung mit einem Effektivwert von 230 V als Eingangsspannung  $U_E$ . In diesem Fall wurde der Eingangsstrom  $I_E(t)$  durch entsprechend vorgegebene Amplituden mittels der ersten Regelschaltung so verzerrt, dass die Bestimmungen der Klasse D der Netzstrom-Verzerrungsnorm bezüglich der Amplitudenanteile der höheren Harmonischen noch erfüllt sind. Auch hier entsprechen die schraffierten Flächen wiederum der vom kapazitiven Energiespeicher C1 zu speichernden Energie E. Wie zu sehen ist, kann durch eine stärkere harmonische Verzerrung die zu speichernde Energie E noch weiter verkleinert werden. Insbesondere kann durch eine harmonische Verzerrung eine Verkleinerung der benötigten Kapazität des kapazitiven Energiespeichers C1 um ca. 41% bei einer Verzerrung gemäß **Fig. 4a** und **Fig. 4b**, und um ca. 60% bei einer Verzerrung gemäß **Fig. 5a** und **Fig. 5b** gegenüber eines unverzerrten Signals erreicht werden.

**[0045]** Insgesamt wird so ein Schaltwandler zum Betreiben mindestens einer LED bereitgestellt, der es ermöglicht die Kapazität des kapazitiven Energiespeichers zu verkleinern, indem eine erste Regelschaltung dazu ausgebildet ist einen Eingangsstrom harmonisch zu verzerrern, so dass sich die vom kapazitiven Energiespeicher zu speichernde Energie verringert. Durch die so gegebene besonders vorteilhafte Möglichkeit der Verwendung von Keramikcondensatoren oder Foliencondensatoren, die für eine größere Spannungswelligkeit ausgelegt sind, kann die Kapazität des kapazitiven Energiespeichers bei gleichzeitiger Erhöhung der Zwischenkreisspannung noch zusätzlich verkleinert werden. Darüber hinaus ist ein wesentlicher Vorzug von Keramikcondensatoren und Foliencondensatoren, dass sie eine viel höhere Lebensdauer aufweisen und wesentlich temperaturfester als Elektrolytkondensatoren sind, wodurch zusätzlich noch eine Erhöhung der maximalen Betriebstemperatur des Schaltwandlers erreicht werden kann.

### Patentansprüche

1. Schaltwandler (**10**) zum Betreiben mindestens einer LED, aufweisend:
    - einen Eingang (E1, E2) mit einem ersten und einem zweiten Eingangsanschluss zum Koppeln mit einer Wechselspannungsquelle;
    - einen Ausgang (A1, A2) mit einem ersten und einem zweiten Ausgangsanschluss zum Koppeln mit der mindestens einen LED, wobei am Ausgang (A1, A2) eine Ausgangsgröße bereitstellbar ist;
    - einen Gleichrichter (**11**) mit einem Eingang, der mit dem Eingang (E1, E2) des Schaltwandlers (**10**) gekoppelt ist, und einem Ausgang;
    - ein Eingangsreaktanznetzwerk (**12**) mit einem Eingang, der mit dem Ausgang des Gleichrichters (**11**) gekoppelt ist, und einem Ausgang, wobei das Eingangsreaktanznetzwerk (**12**) mindestens einen ersten steuerbaren elektronischen Schalter umfasst;
    - einen kapazitiven Energiespeicher (C1), der mit dem Ausgang des Eingangsreaktanznetzwerks (**12**) gekoppelt ist;
    - mindestens eine erste elektronische Regelschaltung, mittels welcher der Schaltwandler (**10**) durch entsprechende Ansteuerung des elektronischen Schalters an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) regelbar ist; **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die mindestens eine erste Regelschaltung derart ausgebildet ist, dass der Schaltwandler (**10**) an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) regelbar ist, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf Spektralanteile aufweist bei einer Grundfrequenz einer Grundschwingung mit einer Grundamplitude und bei einer Frequenz mindestens einer Oberschwingung mit einer vorgebbaren Amplitude, wobei die mindestens eine Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

2. Schaltwandler (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Regelschaltung der Schaltwandler (10) auf einen zeitlich variierenden Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) regelbar ist, der Spektralanteile aufweist bei Frequenzen von mehreren Oberschwingungen mit jeweils einer vorgebbaren Amplitude, wobei die Frequenzen ungeradzahlig Vielfache der Grundfrequenz sind.

3. Schaltwandler (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Amplituden der Oberschwingungen mit Frequenzen bis zum 49-fachen der Grundfrequenz vorgebar sind.

4. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangsspannung ( $U_E$ ) eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz ist, wobei die erste Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Schaltwandler (10) an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) zu regeln, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf eine Grundschwingung mit derselben Frequenz wie die der Eingangsspannung  $U_E$  aufweist.

5. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Schaltwandler (10) an seinem Eingang (E1, E2) auf einen Sollwert des Eingangsstroms ( $I_E(t)$ ) zu regeln, wobei der Sollwert in seinem zeitlichen Verlauf eine Grundschwingung aufweist, die keine Phasenverschiebung gegenüber der Eingangsspannung  $U_E$  aufweist.

6. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorgebbare Amplitude der mindestens einen Oberschwingung kleiner oder gleich der durch eine Verzerrungsnorm für die Netzstromentnahme vorgegebenen Amplitude ist.

7. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schaltwandler (10) ein Ausgangsreaktanznetzwerk (13) mit einem Eingang, der mit dem kapazitiven Energiespeicher (C1) gekoppelt ist, aufweist, und einem Ausgang (A1, A2) zum Koppeln mit der mindestens einen LED, wobei das Ausgangsreaktanznetzwerk (13) mindestens einen zweiten steuerbaren elektronischen Schalter umfasst.

8. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schaltwandler (10) mindestens eine zweite Regelschaltung umfasst, mittels welcher der Schaltwandler (10) auf eine Ausgangsgröße regelbar ist.

9. Schaltwandler (10) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangsgröße ein Ausgangsstrom ( $I_A$ ) ist.

10. Schaltwandler (10) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine zweite Regelschaltung dazu ausgebildet ist, den Schaltwandler (10) auf eine Ausgangsgröße zu regeln in Abhängigkeit eines Momentanwerts einer über dem kapazitiven Energiespeicher (C1) abgreifbaren Spannung ( $U_K$ ).

11. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Eingangsreaktanznetzwerk (12) als Aufwärtswandler ausgebildet ist.

12. Schaltwandler (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ausgangsreaktanznetzwerk (13) als Abwärtswandler ausgebildet ist.

13. Schaltwandler (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der kapazitive Energiespeicher (C1) ein Keramik Kondensator oder Folienkondensator ist.

14. Schaltwandler (10) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kapazität des Keramik Kondensators oder Folienkondensators derart bemessen ist, dass eine am Keramik Kondensator oder Folienkondensator abgreifbare Spannung ( $U_K$ ) eine Spannungswelligkeit ( $\Delta U$ ) aufweist, der größer ist als 30% des Maximalwerts der am Eingang (E1, E2) des Schaltwandlers (10) anliegenden Eingangsspannung ( $U_E$ ).

15. Schaltwandler (10) nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kapazität des Keramik Kondensators oder Folienkondensators derart bemessen ist, dass der Momentanwert der am Keramik Kondensator abgreifbaren Spannung ( $U_K$ ) größer ist als der Momentanwert der am Eingang (E1, E2) des Schaltwandlers (10) anliegenden Spannung ( $U_E$ ).

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

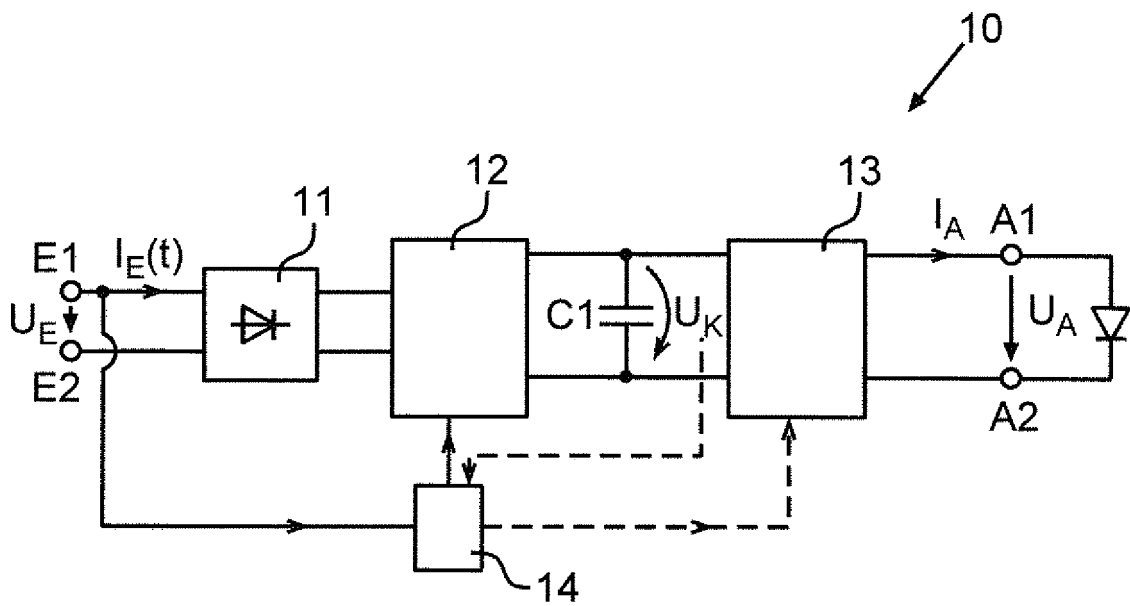


Fig.1

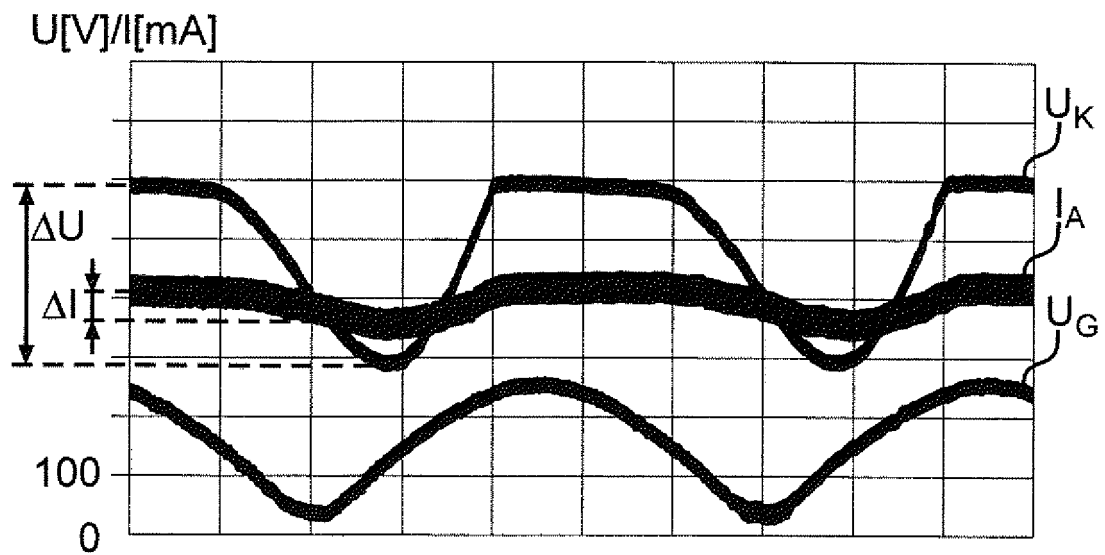


Fig.2

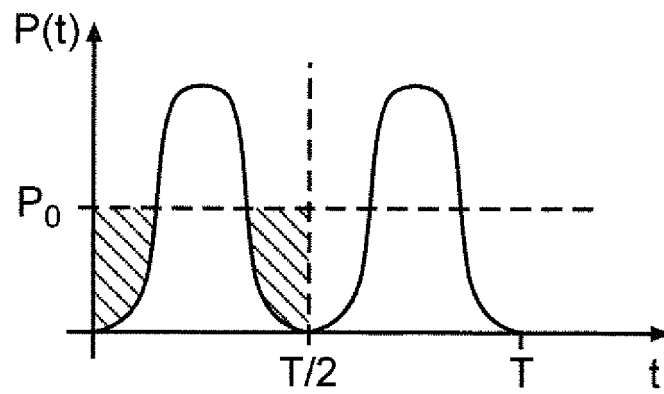


Fig.3

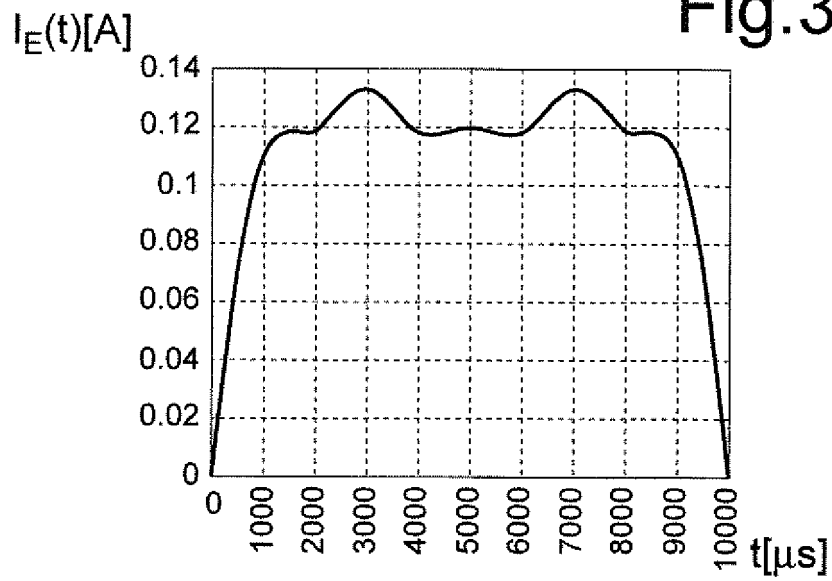


Fig.4a

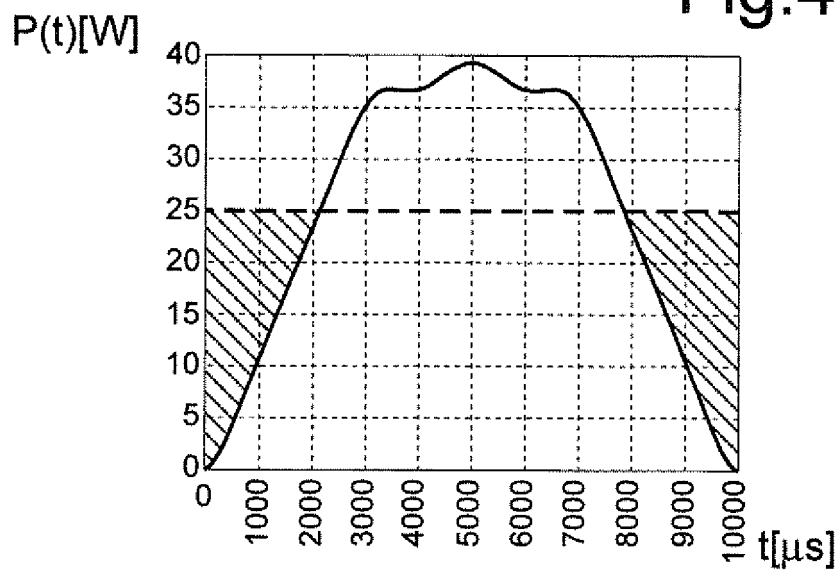


Fig.4b

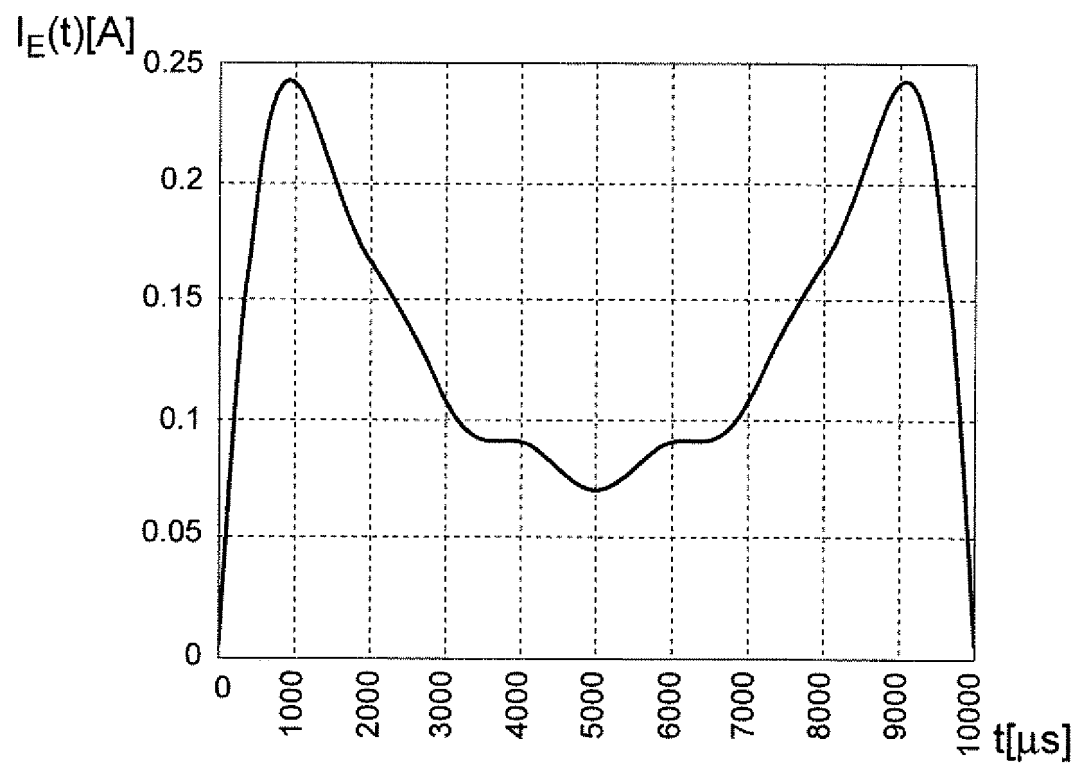


Fig.5a

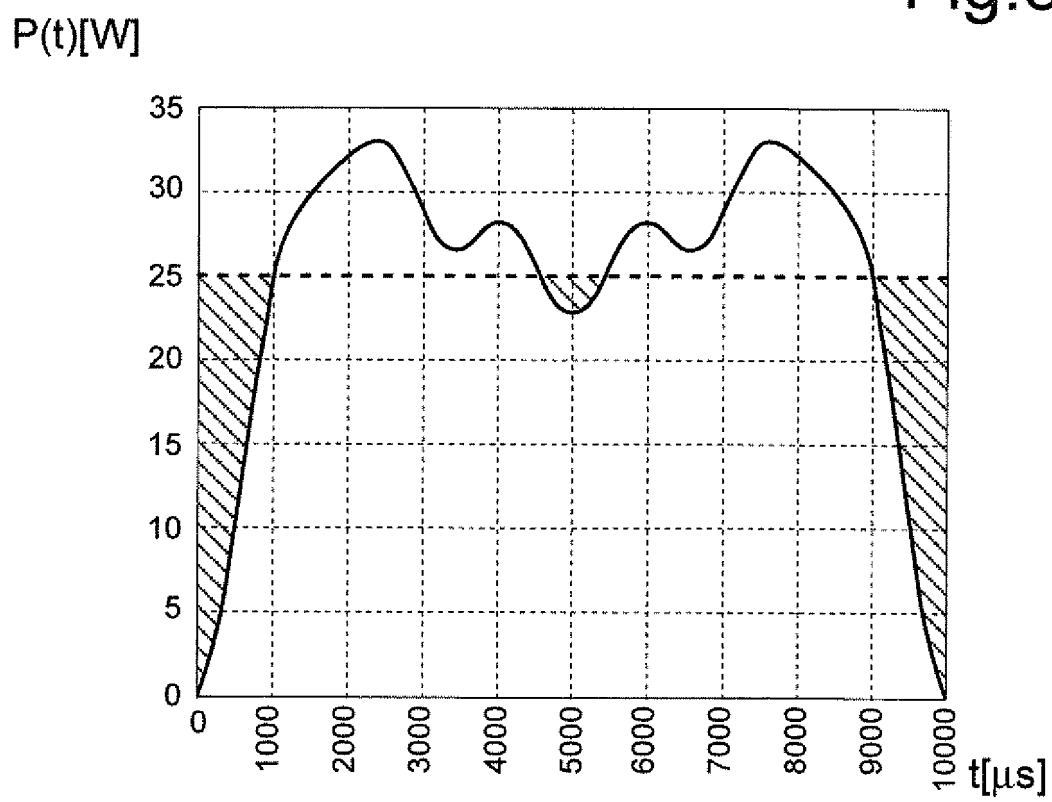


Fig.5b