

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 1906/2009**

(22) Anmeldetag: **02.12.2009**

(43) Veröffentlicht am: **15.05.2011**

(51) Int. Cl.: **G05F 1/70** (2006.01),
H02M 7/21 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

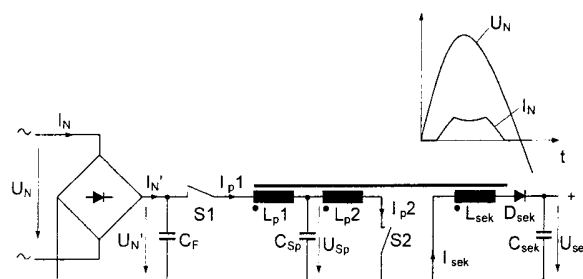
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
D-80333 MÜNCHEN (DE)

(72) Erfinder:

AUGESKY CHRISTIAN DR.
WIEN (AT)

(54) **WANDLER MIT LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR**

(57) Die Erfindung betrifft einen Wandler zur Umwandlung einer eingangsseitigen Wechselspannung (U_N) in eine ausgangsseitige Gleichspannung (U_{sek}), wobei eine Leistungsfaktorkorrektur vorgesehen ist und der Wandler einen Transformator mit wenigstens zwei in Serie angeordneten Primärwicklungen (L_{p1} , L_{p2}) umfasst. Dabei ist eine Speicherkondensatoreinheit (C_{Sp}) in Reihe mit einer ersten Primärwicklung (L_{p1}) mittels eines ersten Schalters (S1) getaktet über Gleichrichtungs-elemente (GD1, GD2, GD3, GD4) an die Wechselspannung (U_N) schaltbar und eine zweite Primärwicklung (L_{p2}) ist mittels eines zweiten Schalters (S2) getaktet an die Speicherkondensatoreinheit (C_{Sp}) schaltbar.



Zusammenfassung

Wandler mit Leistungsfaktorkorrektur

- 5 Die Erfindung betrifft einen Wandler zur Umwandlung einer
eingangsseitigen Wechselspannung (U_N) in eine ausgangsseitige
Gleichspannung (U_{sek}), wobei eine Leistungsfaktorkorrektur
vorgesehen ist und der Wandler einen Transformator mit
wenigstens zwei in Serie angeordneten Primärwicklungen (L_{p1} ,
10 L_{p2}) umfasst. Dabei ist eine Speicherkondensatoreinheit
(C_{sp}) in Reihe mit einer ersten Primärwicklung (L_{p1}) mittels
eines ersten Schalters (S1) getaktet über
Gleichrichtungselemente (GD1, GD2, GD3, GD4) an die
Wechselspannung (U_N) schaltbar und eine zweite Primärwicklung
15 (L_{p2}) ist mittels eines zweiten Schalters (S2) getaktet an
die Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) schaltbar.

Fig. 3

20

Wandler mit Leistungsfaktorkorrektur

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft einen Wandler zur Umwandlung einer
eingangsseitigen Wechselspannung in eine ausgangsseitige
Gleichspannung, wobei eine Leistungsfaktorkorrektur
vorgesehen ist und der Wandler einen Transformator mit
wenigstens zwei in Serie angeordneten Primärwicklungen
10 umfasst. Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum
Betreiben eines solchen Wandlers.

In üblichen Netzstromversorgungen zur Anwendung kommende
Wandler weisen in der Regel stark oberwellenbehaftete
15 Eingangsströme bzw. einen Leistungsfaktor deutlich unter Eins
auf. Der Grund dafür liegt in dem Erfordernis, eine
gleichstromseitige Speicherkapazität über einen
wechselseitigen Gleichrichter nachzuladen. Kurze,
nadelförmige Stromspitzen sind das Resultat. Die Höhe dieser
20 Stromspitzen wird ohne zusätzliche Maßnahmen nur durch die
Innenwiderstände eines eingangsseitigen Netzes, eines
Netzfilters, eines Gleichrichters und einer Speicherkapazität
begrenzt.

25 Um einen Anteil störender Oberschwingungen bei der
Stromentnahme eines Wandlers zu reduzieren, ist nach dem
Stand der Technik eine sogenannte Leistungsfaktorkorrektur
(Power Factor Correction, PFC) vorgesehen.

30 Eine passive Leistungsfaktorkorrektur wird mittels einer
hohen Eingangsinduktivität erreicht (Fig.1). Der große
Induktivitätswert ist notwendig, um den Stromflusswinkel
während einer Nachladephase deutlich zu erhöhen. Sinnvoll ist
dies nur bei kleinen Leistungen, weil sonst die
35 entsprechenden Drosseln zu groß und schwer sind. Neben den
Kosten für die Drosseln ist deren Verlustleistung zu
berücksichtigen.

Für weite Eingangsspannungsbereiche eignet sich diese Methode wegen der damit verbundenen Varianz des maximalen Eingangsstromes wenig.

5

Alternativ dazu ist eine aktive Leistungsfaktorkorrektur bekannte, bei der eine eigene Wandlerstufe den aufgenommenen Strom dem zeitlichen Verlauf einer sinusförmig verlaufenden Netzspannung nachsteuert. Solche aktiven PFC-Schaltungen sind
10 in der Regel als Aufwärtswandler ausgebildet und einem Gleichrichter direkt nachgeschaltet (Fig. 2a). Sie laden einen großen Kondensator auf eine Spannung oberhalb der Scheitelspannung der Eingangswechselspannung auf. Der Aufwärtswandler arbeitet auf einer wesentlich höheren
15 Frequenz als eine Netzversorgung, wodurch eine deutlich kleinere Induktivität benötigt wird. Es entsteht ein annähernd kontinuierlicher Stromfluss mit geringer Stromwelligkeit, wobei der mittlere Strom durch eine Steuerschaltung dem Momentanwert der Netzspannung angepasst
20 wird.

Gegenüber einer passiven Leistungsfaktorkorrektur ist eine aktive PFC-Schaltung zwar aufwändiger, allerdings sind höhere Wirkungsgrade und eine bessere Oberwellenunterdrückung
25 möglich. Nachteilig neben dem Aufwand ist die Prinzip bedingt über der maximalen Netzspannung liegende Ausgangsspannung einer solchen PFC-Schaltung, wodurch vor allem bei hohen Netzeingangsspannungen in Bezug auf Komponentenbelastungen und Isolationsspannungen Probleme auftreten können.

30

Anstelle eines Aufwärtswandlers kann eine aktive PFC-Schaltung einen Abwärtswandler umfassen, an dem eine Ausgangsspannung kleiner der Netzspannung anliegt (Fig. 2b). Dadurch sinkt allerdings der mögliche Stromflusswinkel. Der
35 Energieeintrag in einen Speicherkondensator kann nur bei einer Netzspannung größer der Spannung am Speicherkondensator erfolgen. Zudem ist die Stromwelligkeit höher als bei einer

Lösung mit einem Aufwärtswandler und die Ansteuerung eines masseseitigen Leistungsschalters ist bei einem Aufwärtswandler einfacher.

- 5 Aus der JP 2002 315 327 A kennt man einen Sperrwandler mit einem Transformator, welcher zwei primärseitige Wicklungen umfasst. Diese Wandlerausführung hat ebenfalls eine Leistungsfaktorkorrektur zum Ziel. Ein Verbindungspunkt zwischen den primärseitigen Wicklungen ist über einen
10 Glättungskondensator mit einem Bezugspotenzial verbunden. Die erste Primärwicklung liegt dabei in Reihe mit dem Glättungskondensator an einer gleichgerichteten Eingangswchselspannung an. Die zweite Primärwicklung liegt in Reihe mit einem Schalter an dem Glättungskondensator an.
15 Bei eingeschaltetem Schalter wird zunächst Energie aus dem Glättungskondensator über die zweite Primärwicklung in den Transformator geladen, wobei sich auch in der ersten Primärwicklung eine Spannung aufbaut. Nach Abschalten des Schalters wird zunächst Energie vom Eingang über die erste
20 Primärwicklung im Glättungskondensator gespeichert und danach die noch im Transformator gespeicherte Energie sekundärseitig abgegeben. Eine Regelung des Eingangsstromes erfolgt dabei über die Transformatorsättigung. Neben einem schmalen Eingangsspannungsbereich weist ein derartiger Wandler
25 aufgrund der Umladungsvorgänge unerwünschte Verluste auf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für einen Wandler der eingangs genannten Art eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik anzugeben.

- 30 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch einen Wandler gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren zum Betreiben des Wandlers gemäß Anspruch 10. Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Unteransprüche gekennzeichnet.

- 35 Erfindungsgemäß ist eine Speicherkondensatoreinheit in Reihe mit einer ersten Primärwicklung mittels eines ersten

Schalters getaktet über Gleichrichtungselemente an die Wechselspannung schaltbar. Zudem ist eine zweite Primärwicklung mittels eines zweiten Schalters getaktet an die Speicherkondensatoreinheit schaltbar. Auf diese Weise ist
5 ein Wandler angegeben, mittels dem besonders verlustarm Energie vom Eingang zum Ausgang mit einer steuerbaren Leistungsfaktorkorrektur übertragen wird. Das Funktionsprinzip eines Sperrwandlers wird dabei mit dem eines Abwärtswandlers kombiniert, wobei keine zusätzliche
10 Induktivität vorgesehen ist. Die primärseitige Wicklung ist geteilt ausgeführt und die netzseitige Primärwicklung bildet mit dem ersten Schalter und der Speicherkondensatoreinheit einen Abwärtswandler.

15 Eine PFC-Funktionalität wird ohne Hinzufügen einer weiteren Wandlerstufe und ohne einer weiteren großen Induktivität erreicht. Die gesamte auf die Sekundärseite übertragene Energie wird nur einmal im Transformator zwischengespeichert, weil das Aufladen der Speicherkondensatoreinheit direkt aus
20 einem eingangsseitig angeschlossenen Netz erfolgt. Dementsprechend weist die gesamte erfindungsgemäße Wandleranordnung eine hohe Effizienz auf.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die am ersten
25 Schalter und an der ersten Primärwicklung anliegende Spannung nur der Differenz aus gleichgerichteter Eingangsspannung und der Spannung an der Speicherkondensatoreinheit entspricht. Die Belastung dieser Komponenten wird demnach auch bei hohen Eingangsspannungen niedrig gehalten. Damit kann auch der
30 Aufwand für den Schutz gegen Netztransienten gesenkt werden, insbesondere in Kombination mit einem schaltbaren Freilauf der ersten Primärwicklung.

Durch eine geeignete Anpassung der Spannung der
35 Speicherkondensatoreinheit an die Eingangsspannung wird ein sehr weiter Eingangsspannungsbereich abgedeckt. Die Spannung an der Speicherkondensatoreinheit wird bei kleiner

Eingangsspannung niedrig und bei großer Eingangsspannung hoch vorgegeben. Es ist also eine Weitbereichsfähigkeit ohne Umschaltung gegeben, das heißt ohne Notwendigkeit einen Spannungsverdoppler vorzusehen.

5

Zudem ist der erfindungsgemäße Wandler grundsätzlich für quasiresonanten Schaltbetrieb mit diskreten Entlastungs- bzw. Resonanzkapazitäten geeignet. Durch einen solchen Schaltbetrieb wird einerseits die Effizienz weiter gesteigert und andererseits das Auftreten von Hochfrequenzstörungen deutlich reduziert.

10

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in einer ersten Ladephase eines Arbeitstakts eingangsseitig zugeführte Energie über die erste Primärwicklung im Transformator und in der Speicherkondensatoreinheit gespeichert und in einer zweiten Ladephase elektrische Energie aus der Speicherkondensatoreinheit über die zweite Primärwicklung im Transformator gespeichert. Die während einer Leitphase des ersten Schalters über die erste Primärwicklung in den Transformator eingebrachte Energie wird nicht in die Speicherkondensatoreinheit umgeladen sondern sekundärseitig abgegeben. Während einer Leitphase des ersten Schalters lädt der durch die erste Primärwicklung fließende Strom zudem die Speicherkondensatoreinheit auf. Die so gespeicherte Energie wird über die zweite Primärwicklung bei eingeschaltetem zweitem Schalter in den Transformator geladen und sekundärseitig abgegeben. Es erfolgt also keine verlustbehaftete Rückspeicherung aus dem Transformator in die Speicherkondensatoreinheit. Die im Transformator gespeicherte Energie wird direkt an die Sekundärseite des Wandlers abgegeben.

20

25

30

Eine vorteilhafte Weiterbildung des Wandlers sieht vor, dass eine Filterkondensatoreinheit angeordnet ist, welche an einen Leiter der Wechselspannung angeschlossen ist und der Gleichrichtungselemente nachgeordnet sind. Diese

35

Filterkondensatoreinheit dient dabei der Glättung und ist kleiner als übliche Puffereingangskondensatoren ausgelegt.

Für die sekundärseitige Ausgestaltung des Wandlers ist es von Vorteil, wenn der Transformator wenigstens eine Sekundärwicklung umfasst, an welche über eine sekundärseitige Gleichrichterschaltung ein Ausgangskondensator angeschlossen ist. Günstigerweise besteht diese sekundärseitige Gleichrichterschaltung aus einer Gleichrichterdiode.

Primärseitig ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung vorgesehen, dass der erste Schalter in Reihe mit der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung und Speicherkondensatoreinheit angeordnet ist und dass der zweite Schalter in Reihe mit der zweiten Primärwicklung angeordnet ist. Dieser einfache Aufbau ermöglicht eine einfache Dimensionierung der einzelnen Bauteile und eine kompakte Bauweise.

Zudem erfolgt bei einem einfachen Aufbau die Anordnung der Speicherkondensatoreinheit in der Weise, dass eine Verbindung zwischen den beiden Primärwicklungen an einen Anschluss der Speicherkondensatoreinheit angeschlossen ist und dass deren zweiter Anschluss an ein primärseitiges Bezugspotenzial angeschlossen ist. Dabei ist es günstig, wenn die Reihenschaltung bestehend aus zweiter Primärwicklung und zweitem Schaltelement parallel zu der Speicherkondensatoreinheit angeordnet ist.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass parallel zu der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung und Speicherkondensatoreinheit eine Freilaufdiode angeordnet ist, dass die Speicherkondensatoreinheit über den ersten Schalter, insbesondere in Reihe mit einem ersten Strommesswiderstand, mit einem Bezugspotenzial verbunden ist und dass die zweite Primärwicklung über den zweiten Schalter, insbesondere in

Reihe mit dem ersten und einem zweiten Strommesswiderstand, mit demselben Bezugspotenzial verbunden ist. Bei dieser Anordnung kann der erste Schalter während der Leitphase des zweiten Schalters eingeschaltet bleiben, wodurch eine vereinfachte Ansteuerung gegeben ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung ist derart, dass der erste Schalter ein erstes und ein zweites Schaltelement umfasst, dass die erste Primärwicklung in eine erste und in eine zweite Teilwicklungen aufgeteilt ist, dass die erste Teilwicklung in Serie mit dem ersten Schaltelement und mit einem positiv aufgeladenen Speicherkondensator über ein erstes Gleichrichterelement an die Wechselspannung angeschlossen ist und dass die zweite Teilwicklung in Serie mit dem zweiten Schaltelement und einem negativ aufgeladenen Speicherkondensator über ein zweites Gleichrichterelement an die Wechselspannung angeschlossen ist. Dabei reduzieren sich die Gleichrichtungselemente auf zwei Gleichrichterdioden.

Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass ein drittes Schaltelement in einem Freilaufpfad der ersten Primärwicklung angeordnet ist, sodass ein schaltbarer Freilauf für diese Primärwicklung gegeben ist.

Beim Betreiben des Wandlers ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass während einer Ladephase zu Beginn der erste Schalter eingeschaltet und der zweite Schalter ausgeschaltet wird und anschließend der zweite Schalter eingeschaltet und der erste Schalter ausgeschaltet wird und der zweite Schalter so lange eingeschaltet bleibt, bis ein Strom durch das zweite Schaltelement einen vorgegebenen Schwellenwert erreicht. Die Steuerung der übertragenen Energie erfolgt also über den primärseitigen Strom, wobei dessen Schwellenwert durch eine sekundärseitige Spannungsregelung vorgegeben wird.

Dabei ist es des Weiteren von Vorteil, wenn das Verhältnis der Einschaltzeitdauern des ersten und des zweiten Schalters

in der Weise geregelt wird, dass die Spannung an der Speicherkondensatoreinheit im Mittel konstant bleibt. Das Gleichgewicht der Speicherkondensatoreinheit wird also unabhängig von der sekundärseitigen Spannungsregelung und der Abschaltsteuerung des primärseitigen Stromes geregelt. Die Stellgröße dieses zweiten langsameren Regelkreises bildet die Einschaltdauer des ersten Schalters.

Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 Wandlerschaltung nach dem Stand der Technik mit Eingangsinduktivität

Fig. 2a Aktive PFC-Schaltung nach dem Stand der Technik als Aufwärtswandler ausgebildet

Fig. 2b Aktive PFC-Schaltung nach dem Stand der Technik als Abwärtswandler ausgebildet

Fig. 3 Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Wandlers

Fig. 4 Stromdiagramm mit Schaltzuständen der Schalter

Fig. 5 Verlauf des Eingangstromes und der Eingangsspannung

Fig. 6 Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 mit als MOS-FETs ausgebildete Schalter

Fig. 7 Alternatives Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Wandlers

Fig. 8 Variante eingangsseitiger Gleichrichterelemente

Fig. 9 Alternatives Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Wandlers mit nur zwei eingangsseitigen Gleichrichterdiolen

Die Fig. 1-3 zeigen bekannte PFC-Schaltungen, welche eine Eingangswechselspannung in eine Gleichspannung eines Zwischenkreises umwandeln. Bei einer passiven Schaltung (Fig. 1) ist vor einer Gleichrichtereinheit eine ausreichend große

Induktivität L angeordnet. Der Stromflusswinkel wird auf diese Weise gegenüber dem ursprünglichen Stromverlauf I_N^* erhöht, wobei es jedoch zu einer zu berücksichtigenden Phasenverschiebung kommt.

5

Die aktiven Schaltungen (Fig. 2a und 2b) umfassen einen getakteten Schalter S , mittels dem neben dem Stromflusswinkel auch die Phasenlage des Stromes I_N beeinflussbar ist.

- 10 Der in Fig. 3 dargestellte Wandler umfasst eine eingangsseitige Gleichrichterbrücke, die an eine Wechselspannung U_N angeschlossen ist und einen Wechselstrom I_N in einen gleichgerichteten Strom I_N' umwandelt. Der Gleichrichterbrücke nachgeschaltet ist ein Filterkondensator
- 15 C_F , welcher klein in Bezug auf die Frequenz der Wechselspannung U_N dimensioniert ist. Dieser Filterkondensator C_F kann vorteilhafterweise auch vor der Gleichrichterbrücke angeordnet sein, wodurch eine Aufladung infolge eines Energierückflusses aus dem Wandler
- 20 ausgeschlossen wird.

Der Wandler umfasst weiters einen Transformator mit zwei Primärwicklungen L_{p1} , L_{p2} und einer Sekundärwicklung L_{sek} . Der Anfang der ersten Primärwicklung L_{p1} ist über einen ersten

25 Schalter $S1$ an den Ausgang der Gleichrichterbrücke angeschlossen. Bei geschlossenem erstem Schalter $S1$ fließt ein erster Primärstrom I_{p1} durch die erste Primärwicklung L_{p1} . Das Ende dieser ersten Primärwicklung L_{p1} ist mit dem Anfang der zweiten Primärwicklung L_{p2} verbunden, wobei ein

30 Verbindungspunkt zwischen diesen Primärwicklungen L_{p1} , L_{p2} an einen Anschluss eines Speicherkondensators C_{sp} angeschlossen ist. Der zweite Anschluss dieses Speicherkondensators C_{sp} ist an ein primärseitiges Bezugspotenzial angeschlossen.

- 35 Das Ende der zweiten Primärwicklung L_{p2} ist über einen zweiten Schalter $S2$ ebenfalls an das Bezugspotenzial angeschlossen, sodass die Reihenschaltung bestehend aus

zweiter Primärwicklung L_{p2} und zweitem Schalter S2 parallel zum Speicherkondensator C_{sp} geschaltet ist. Bei geschlossenem zweitem Schalter S2 fließt ein zweiter Primärstrom I_{p2} durch die zweite Primärwicklung L_{p2} .

5

Über einen Kern des Transformators besteht eine Kopplung zwischen den Primärwicklungen L_{p1} , L_{p2} und der Sekundärwicklung L_{sek} . Die in der Sekundärwicklung L_{sek} induzierte Spannung bewirkt einen sekundärseitigen Strom I_{sek} , welcher über eine Gleichrichterdiode D_{sek} einen sekundärseitigen Ausgangskondensator C_{sek} auflädt. An diesem Ausgangskondensator C_{sek} liegt die Ausgangsspannung U_{sek} an.

10

Der Wandler bewirkt einen Verlauf des eingangsseitigen Stromes I_N in der Weise, dass nur im Bereich der Nulldurchgänge der Wechselspannung U_N kurzzeitig kein Strom I_N fließt. Dazwischen steigt der Strom I_N an, wobei im Bereich der höchsten Spannung U_N eine Reduktion des Stromes I_N erfolgt, sodass der Stromverlauf insgesamt abgeflacht ist. Die Stromentnahme aus einem eingangsseitig angeschlossenen Netz erfolgt also nicht in Form einer netzsynchronen Sinusfunktion, allerdings werden Stromspitzen vermieden und der Stromflusswinkel stark erweitert, sodass Stromoberwellen unterhalb geforderter Grenzwerte bleiben.

25

Die in Fig. 4 dargestellten Stromverläufe resultieren aus der Regelung des Wandlers. Eine sekundärseitige Spannungsregelung gibt einen Schwellenwert I_p für den primärseitigen Strom I_{p1} bzw. I_{p2} vor. Zu Beginn einer Ladephase wird der erste Schalter S1 eingeschaltet. Der erste Primärstrom I_{p1} durch die erste Primärwicklung L_{p1} steigt an, bis der erste Schalter S1 nach einer mittels eines zweiten Regelkreises vorgegebenen Einschaltdauer T_{on1} wieder ausgeschaltet wird. Der zweite Regelkreis bestimmt dabei das Spannungsniveau des Speicherkondensators C_{sp} und hält dieses im Mittel konstant.

30

35

Gleichzeitig mit dem Ausschalten des ersten Schalters S1 wird der zweite Schalter S2 eingeschaltet. Dabei ist es von Vorteil, eher eine geringfügige Überlappung als eine zeitliche Lücke zwischen den Einschaltzuständen vorzusehen.

- 5 Während der Einschaltdauer T_{ON2} des zweiten Schalters S2 fließt der zweite Primärstrom I_{p2} durch die zweite Primärwicklung L_{p2} und steigt an, bis der vorgegebenen Schwellenwert $I_{p_{soll}}$ erricht ist. Dann wird die Ladephase durch Abschalten des zweiten Schalters S2 beendet.

10

In der nachfolgenden Sperrphase, während der beide Schalter S1, S2 für eine Ausschaltdauer T_{OFF} ausgeschaltet bleiben, fließt ein abfallender Sekundärstrom I_{sek} durch die Sekundärwicklung L_{sek} des Transformators und lädt den

- 15 Ausgangskondensator C_{sek} auf.

Zur Regelung der Einschaltzeit T_{ON} ist es vorteilhaft, wenn eine Mittelung der Eingangsspannung U_N sowie eine Vorgabe des Stromschwellenwerts $I_{p_{soll}}$ als Vorsteuerwert der Regelung

- 20 mittels eines gleitenden Fensters über jeweils einer Halbwelle erfolgt. Es ist somit ein Kammfilter für die Netzfrequenz und Oberwellen vorgesehen.

Die Einschaltzeit T_{ON} wird dabei günstigerweise vom Stromschwellenwert $I_{p_{soll}}$ unter Berücksichtungen des über die Ausgangsleistung gegebenen linearen Zusammenhangs abgeleitet. Ein I-Regler wird nur für eine Restabweichung von der Speicherkondensatorspannung U_{sp} genutzt.

- 30 Fig. 5 zeigt den Verlauf der gleichgerichteten Eingangsspannung U_N' und des Stromes I_N' in einem stabilen Lastpunkt. Dargestellt sind die möglichen Zeitspannen, in welchen dem Speicherkondensator C_{sp} Energie W entweder entnommen oder zugeführt wird. In einem stabilen Lastpunkt ergibt sich bei geeigneter Einstellung der maximalen
35 Einschaltdauer T_{ON1} des ersten Schalters S1 eine ausgeglichene Energiebilanz im Speicherkondensator C_{sp} . In

jenen Phasen, in welchen die eingangsseitige Spannung U_N' kleiner als die Spannung U_{Sp} am Speicherkondensator C_{Sp} ist, wird die Energie zur Gänze aus diesem Speicherkondensator C_{Sp} entnommen. Wird die eingangsseitige Spannung U_N' größer als
 5 die Kondensatorspannung U_{Sp} , erfolgt die Energieaufnahme zunächst sowohl aus einem eingangsseitig angeschlossenen Netz, als auch aus dem Speicherkondensator C_{Sp} . Der entsprechende Stromverlauf ist in Fig. 4 dargestellt. Bei weiterem Anstieg der eingangsseitigen Spannung U_N' erfolgt
 10 die Energieaufnahme zur Gänze aus dem Netz, wobei der von der sekundärseitigen Spannungsregelung vorgegebene Stromschwellwert $I_{p\,soll}$ bereits innerhalb der Einschaltdauer T_{ON1} des ersten Schalters erreicht wird.

15 Die Vorgabe für die gewünschte Spannung U_{Sp} am Speicherkondensator C_{Sp} erfolgt nach strategischen Gesichtspunkten. Kriterien sind dabei eine Reduktion der Spannung am ersten Schalter $S1$, eine Nutzung der gespeicherten Energie zur Netzausfallsüberbrückung, eine
 20 Optimierung des Stromflusswinkels, ein gesteuertes Hochfahren beim Einschalten, eine Optimierung der Schaltbedingungen für spannungsloses Schalten etc.

Eine praktische Ausführung eines Wandlers gemäß Fig. 3 ist in
 25 Fig. 6 dargestellt. Mit als MOS-FETs ausgebildeten Schaltern $S1$, $S2$ muss speziell auf deren technologiebedingte Paralleldioden Rücksicht genommen werden. Insbesondere in Serie zum zweiten Schalter $S2$ ist dies notwendig, um einen Kurzschluss der zweiten Primärwicklung L_{p2} beim Hochlaufen zu
 30 verhindern. Beim Hochlaufen ist die Speicherkondensatorspannung U_{Sp} noch nahezu Null oder sehr klein gegenüber der Differenzspannung zwischen eingangsseitige Spannung U_N' und Speicherkondensatorspannung U_{Sp} . Es ist daher eine erste Diode $D1$ angeordnet, deren
 35 Kathode mit der Kathode der Paralleldiode im zweiten Schalter $S2$ verbunden ist.

Zur Beschleunigung des Startverhaltens kann eine Freilaufdiode D2 vorgesehen sein. Vorteilhafterweise ist diese mittels eines dritten Schalters S3 schaltbar realisiert, da sonst die Randbedingungen für die Dimensionierung des Transformators sehr ungünstig werden können. Ohne eine solche Maßnahme müsste die Speicherkondensatorspannung U_{sp} immer größer sein als die auf die Primärseite rücktransformierte Sekundärspannung U_{sek} . Es würde insbesondere der Betrieb mit niedriger Eingangsspannung U_N eingeschränkt sein.

Alternativ zu einer schaltbaren Freilaufdiode D2 kann die erste Primärwicklung L_{p1} mit einem Freilaufpfad angezapft sein. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen Freilaufpfad mit einer Hilfswicklung vorzusehen, wobei die Hilfswicklung und die erste Primärwicklung L_{p1} magnetisch gekoppelt sind.

Um die Regelung des Primärstromes einfach zu gestalten ist eine Anordnung von Strommesswiderständen R_{s1} , R_{s2} , an welchen eine Messspannung U_{shunt} abfällt, vorgesehen. Dadurch kann mit nur einem Komparator der primärseitige Strom I_p , der entweder als erster Primärstrom I_{p1} durch den Kondensator C_{sp} und einen ersten Strommesswiderstand R_{s1} fließt, oder als zweiter Primärstrom I_{p2} durch den zweiten Schalter S2 und einen zweiten Strommesswiderstand R_{s2} fließt, ohne gegenseitige Beeinflussung detektiert werden. Mit einer günstigen Dimensionierung der Strommesswiderstände R_{s1} , R_{s2} ist auch eine unterschiedliche Windungszahl der beiden Primärwicklungen L_{p1} , L_{p2} ausgleichbar.

Der eingangsseitige Filterkondensator C_f ist in seiner Größe so bemessen, dass während einer Schaltperiode des Wandlers mit einer Dauer von ca. 3-20 μs die Spannung an diesem Kondensator C_f nicht mehr als um einen vorgegebenen Spannungswert (z.B. 10V) abfällt. Somit ist ein kleiner Filterkondensator C_f mit einer Kapazität von wenigen

Mikrofarad ausreichend, um für den Wandler eine eingangsseitige Spannung U_N' mit ausreichender Steifigkeit bereitzustellen. Zusammen mit einem auf die Schaltfrequenz optimierten Netzfilter vor dem eingangsseitigen

5 Gleichrichtungselementen werden damit auch die Anforderungen an die Filterung hochfrequenter Netzstörungen erfüllt.

Um quasiresonanten Schaltbetrieb zu ermöglichen sind parallel zum ersten und zweiten Schalter S_1 , S_2 und zur

10 sekundärseitigen Gleichrichterdiode D_{sek} Resonanzkapazitäten C_{R1} , C_{R2} , $C_{R\text{sek}}$ vorgesehen.

Eine alternative Ausführung der Wandlerprimärseite ist in Fig. 7 dargestellt. Eingangsseitig liegt eine

15 Eingangsspannung U_N an. Leiter und Nullleiter dieser Wechselspannung sind optional mittels eines eingangsseitigen Filterkondensators C_F verbunden. Dem Filterkondensators C_F nachgeschaltet sind zwei Gleichrichterdioden. Zudem sind Leiter und Nulleiter über zwei weitere Gleichrichterdioden

20 mit einem Bezugspotenzial verbunden.

Bezogen auf das Bezugspotenzial sind an die gleichgerichtete Eingangsspannung U_N' in Reihe die erste Primärwicklung L_{p1} , die zweite Primärwicklung L_{p2} , eine erste Diode D_1 , der

25 zweite Schalter S_2 und Strommesswiderstände R_{S2} , R_{S1} angeschlossen. Die erste Diode D_1 ist aufgrund einer Paralleldiode im zweiten Schalter S_2 erforderlich.

An einen Verbindungspunkt zwischen erster und zweiter

30 Primärwicklung L_{p1} , L_{p2} ist ein erster Anschluss des Speicherkondensators C_{Sp} angeschlossen. Der zweite Anschluss des Speicherkondensators C_{Sp} ist über eine Freilaufdiode D_2 an die gleichgerichtete Eingangsspannung zurückgeführt. Alternativ dazu kann dieser Freilaufpfad auch die erste

35 Primärwicklung L_{p1} anzapfen.

Der zweite Anschluss des Speicherkondensators C_{sp} ist weiters über den ersten Schalter und einen ersten Strommesswiderstand R_{s1} mit dem Bezugspotenzial verbunden. Beide Schalter $S1$, $S2$ sind somit masseseitig angeordnet. Der erste Schalter $S1$ kann
 5 dabei auch bei eingeschaltetem zweitem Schalter $S2$ eingeschaltet bleiben.

Mit einem Wicklungsverhältnis $N1$ der ersten Primärwicklung L_{p1} zur Sekundärwicklung L_{sek} und einem
 10 Wicklungszahlverhältnis $N2$ der zweiten Primärwicklung L_{p2} zur Sekundärwicklung L_{sek} ergibt sich am zweiten Schalter $S2$ folgende maximale Spannung:

$$U_{s2max} = U_N' + U_{sek} \cdot (N1+N2) \text{ bzw.}$$

$$15 \quad U_{s2max} = U_N' + U_{sp} \cdot (N2/N1 + 1)$$

Zur kontrollierten Aufladung des Speicherkondensators C_{sp} ist es günstig, wenn der erste Schalter $S1$ als analoge Stromsenke geschaltet ist. Erst wenn die Spannung am Kondensator C_{sp}
 20 einen minimalen Arbeitspunkt erreicht hat, wird in den Schaltbetrieb übergegangen. Ziel ist dabei ein kontinuierliches Hochfahren der Sekundärspannung U_{sek} .

Eine alternative Filterkondensatorschaltung zur Vermeidung
 25 von Rückladungen in einen Filterkondensator C_F ist in Fig. 8 dargestellt. Eine solche Schaltung ist für alle Ausführungsformen sinnvoll. Der Leiter einer Eingangswchselspannung ist an die Anode einer ersten Gleichrichterdiode $GD1$ und an die Kathode einer zweiten
 30 Gleichrichterdiode $GD2$ angeschlossen. Der Nullleiter der Eingangswchselspannung ist an die Anode einer dritten Gleichrichterdiode $GD3$ und an die Kathode einer vierten Gleichrichterdiode $GD4$ angeschlossen. Die Kathoden der ersten $GD1$ und der dritten Gleichrichterdiode $GD3$ sind miteinander
 35 verbunden. An dieser Verbindung liegt die gleichgerichtete Eingangsspannung U_N' an, bezogen auf ein Bezugspotenzial.

Die Anoden der zweiten GD2 und der vierten Gleichrichterdiode GD4 sind mit dem Bezugspotenzial verbunden. Zwischen Bezugspotenzial und Leiter bzw. Bezugspotenzial und Nullleiter ist jeweils ein Filterkondensator C_F angeordnet.

5

Eine weitere Ausführungsform der Wanderprimärseite mit einer vereinfachten Gleichrichterschaltung ist in Fig. 9

dargestellt. Der Leiter einer eingangsseitigen

Wechselspannung U_N ist mit der Anode einer ersten

10 Gleichrichterdiode GD1 und der Kathode einer zweiten

Gleichrichterdiode GD2 verbunden. Die erste Primärwicklung

L_{p1} ist aufgeteilt in eine erste Teilwicklung L_{p1+} und ein

eine zweite Teilwicklung L_{p1-} . Zudem umfasst der erste

Schalter zwei Schaltelemente S_{1+} , S_{1-} .

15

Zwischen die Kathode der ersten Gleichrichterdiode GD1 und dem Nullleiter der eingangsseitigen Wechselspannung U_N sind in Reihe das erste Schaltelement S_{1+} , die erste Teilwicklung L_{p1+} und ein erster Speicherkondensator C_{sp+} geschaltet.

20 Zwischen die Anode der zweiten Gleichrichterdiode GD2 und dem

Nullleiter sind in Reihe das zweite Schaltelement S_{2+} , die zweite Teilwicklung L_{p1-} und ein zweiter Speicherkondensator C_{sp-} geschaltet.

25 An die somit in Serie angeordneten Speicherkondensatoren C_{sp+} , C_{sp-} ist in Reihe mit dem zweiten Schalter S2 die zweite Primärwicklung L_{p2} geschaltet. Dabei ist zu beachten, dass die Spannungen U_{sp+} , U_{sp-} der Kondensatoren C_{sp+} , C_{sp-} jeweils geregelt werden.

30

Für die Teilwicklungen L_{p1+} , L_{p1-} der ersten Primärwicklung L_{p1} kann jeweils ein Freilaufpfad vorgesehen sein, welcher die jeweilige Teilwicklung L_{p1+} bzw. L_{p1-} anzapft.

35 Alternativ zur in Fig. 9 dargestellten Anordnung kann der erste Schalter S1 auch im Fußpunkt der Speicherkondensatoren C_{sp+} , C_{sp-} angeordnet sein.

Die dargestellten Wandlerausführungen sind in keiner Weise einschränkend und stellen nur mögliche spezielle Ausführungen eines erfindungsgemäßen Wandlers dar. Zudem sind einzelne
5 Funktionseinheiten (z.B. Gleichrichtungselemente gemäß Fig. 8), die nur mit Bezug auf eine der Ausführungsformen beschrieben sind, entsprechend für andere Ausführungsformen anwendbar.

10

15

20

Patentansprüche

1. Wandler zur Umwandlung einer eingangsseitigen Wechselspannung (U_N) in eine ausgangsseitige Gleichspannung (U_{sek}), wobei eine Leistungsfaktorkorrektur vorgesehen ist und der Wandler einen Transformator mit wenigstens zwei in Serie angeordneten Primärwicklungen (L_{p1} , L_{p2}) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) in Reihe mit einer ersten Primärwicklung (L_{p1}) mittels eines ersten Schalters ($S1$) getaktet über Gleichrichtungselemente ($GD1$, $GD2$, $GD3$, $GD4$) an die Wechselspannung (U_N) schaltbar ist und dass eine zweite Primärwicklung (L_{p2}) mittels eines zweiten Schalters ($S2$) getaktet an die Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) schaltbar ist.
2. Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Filterkondensatoreinheit (C_F) angeordnet ist, welche an einen Leiter der Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist und der Gleichrichtungselemente ($GD1$, $GD2$, $GD3$, $GD4$) nachgeordnet sind.
3. Wandler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transformator wenigstens eine Sekundärwicklung (L_{sek}) umfasst, an welche über eine sekundärseitige Gleichrichterschaltung (D_{sek}) ein Ausgangskondensator (C_{sek}) angeschlossen ist.
4. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Schalter ($S1$) in Reihe mit der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung (L_{p1}) und Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) angeordnet ist und dass der zweite Schalter ($S2$) in Reihe mit der zweiten Primärwicklung (L_{p2}) angeordnet ist.
5. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Verbindung zwischen den beiden Primärwicklungen (L_{p1} , L_{p2}) an einen Anschluss der

Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) angeschlossen ist, deren zweiter Anschluss an ein Bezugspotenzial angeschlossen ist.

6. Wandler nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reihenschaltung bestehend aus zweiter Primärwicklung (L_{p2}) und zweitem Schaltelement ($S2$) parallel zu der Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) angeordnet ist.

7. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** parallel zu der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung (L_{p1}) und Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) eine Freilaufdiode ($D2$) angeordnet ist, dass die Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) über den ersten Schalter ($S1$), insbesondere in Reihe mit einem ersten Strommesswiderstand (R_{s1}), mit einem Bezugspotenzial verbunden ist und dass die zweite Primärwicklung (L_{p2}) über den zweiten Schalter ($S2$), insbesondere in Reihe mit dem ersten und einem zweiten Strommesswiderstand (R_{s1} , R_{s2}), mit demselben Bezugspotenzial verbunden ist.

8. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Schalter ($S1$) ein erstes und ein zweites Schaltelement ($S1+$, $S1-$) umfasst, dass die erste Primärwicklung (L_{p1}) in eine erste und in eine zweite Teilwicklungen (L_{p1+} , L_{p1-}) aufgeteilt ist, dass die erste Teilwicklung (L_{p1+}) in Serie mit dem ersten Schaltelement ($S1+$) und mit einem positiv aufgeladenen Speicher kondensator (C_{sp+}) über ein erstes Gleichrichterelement ($GD1$) an die Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist und dass die zweite Teilwicklung (L_{p1-}) in Serie mit dem zweiten Schaltelement ($S1-$) und einem negativ aufgeladenen Speicher kondensator (C_{sp-}) über ein zweites Gleichrichterelement ($GD2$) an die Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist.

9. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein drittes Schaltelement ($S3$) in



einem Freilaufpfad der ersten Primärwicklung (L_{p1}) angeordnet ist.

10. Verfahren zum Betreiben eines Wandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer ersten Ladephase eines Arbeitstakts eingangsseitig zugeführte Energie über die erste Primärwicklung (L_{p1}) im Transformator und in der Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) gespeichert wird und dass in einer zweiten Ladephase elektrische Energie aus der Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) über die zweite Primärwicklung (L_{p2}) im Transformator gespeichert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** während einer Ladephase zu Beginn der erste Schalter ($S1$) eingeschaltet und der zweite Schalter ($S2$) ausgeschaltet wird und anschließend der zweite Schalter eingeschaltet ($S2$) und der erste Schalter ($S1$) ausgeschaltet wird und der zweite Schalter ($S2$) so lange eingeschaltet bleibt, bis ein Strom (I_{p2}) durch das zweite Schaltelement ($S2$) einen vorgegebenen Schwellenwert ($I_{p\text{ soll}}$) erreicht.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis der Einschaltzeitdauern (T_{on1} , T_{on2}) des ersten ($S1$) und des zweiten Schalters ($S2$) in der Weise geregelt wird, dass die Spannung (U_{sp}) an der Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) im Mittel konstant bleibt.

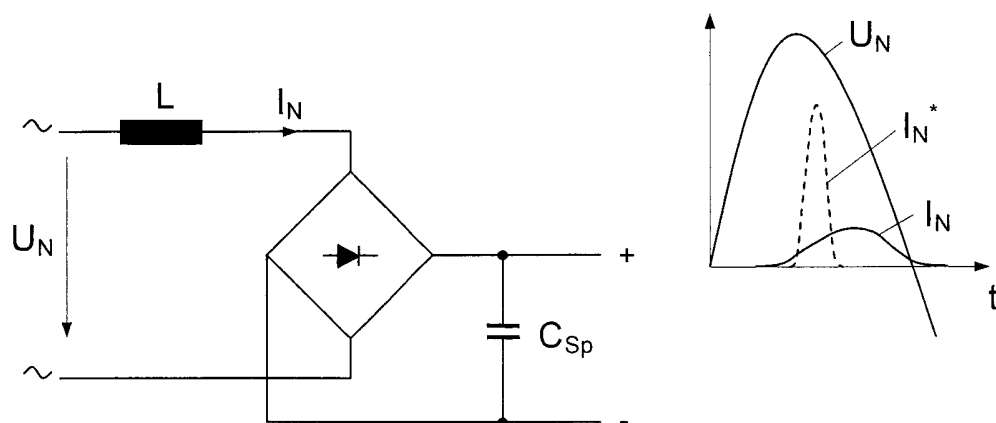


Fig. 1 (Stand der Technik)

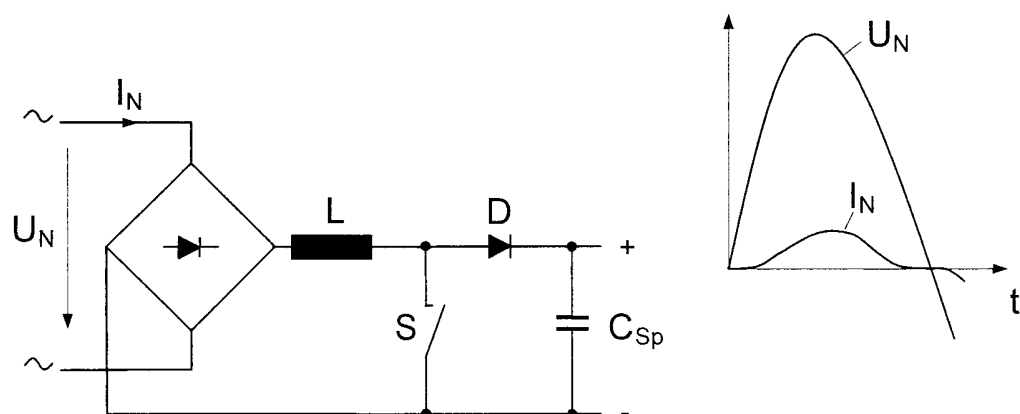


Fig. 2a (Stand der Technik)

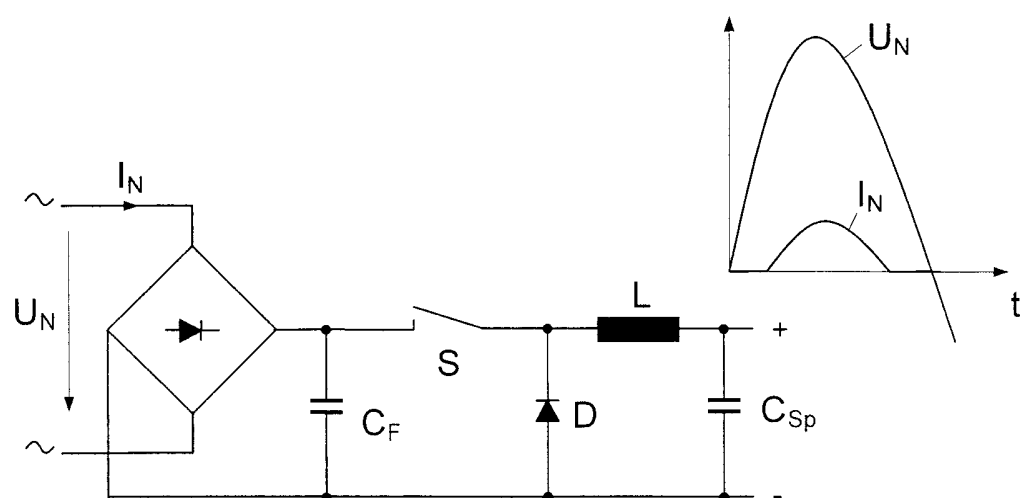


Fig. 2b (Stand der Technik)

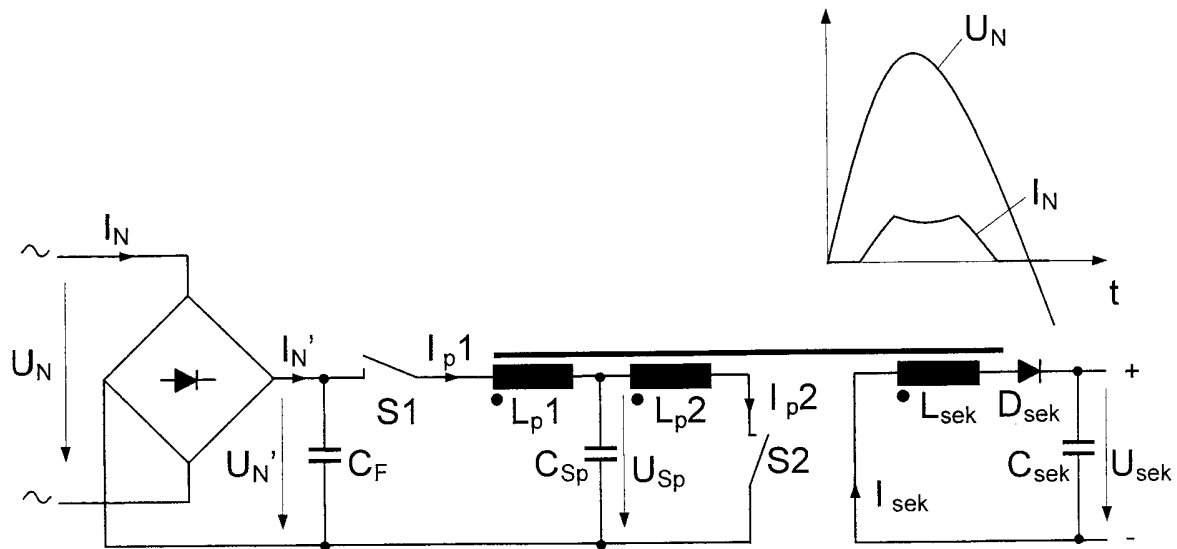


Fig. 3

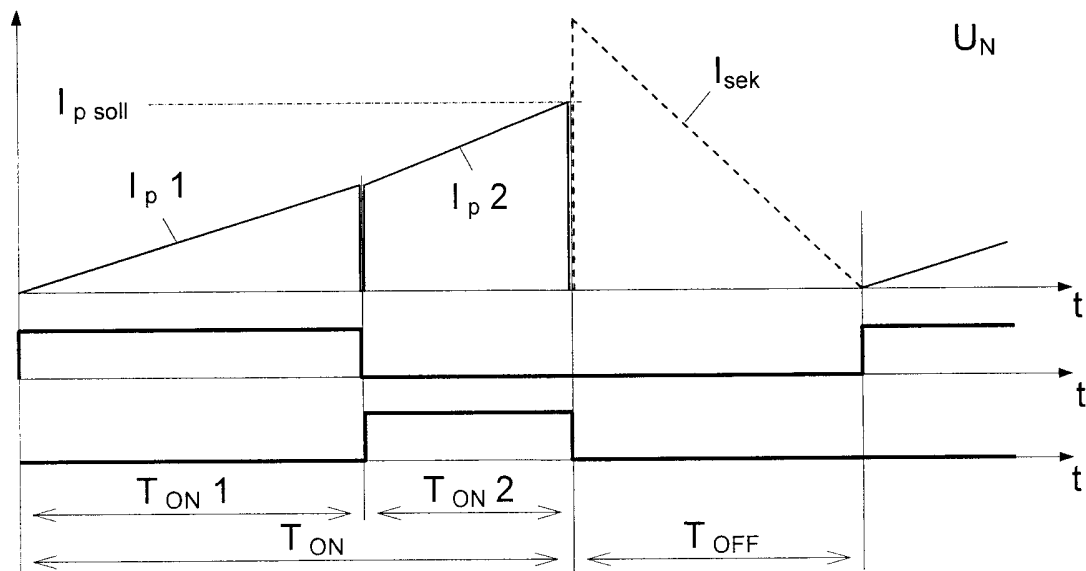


Fig. 4

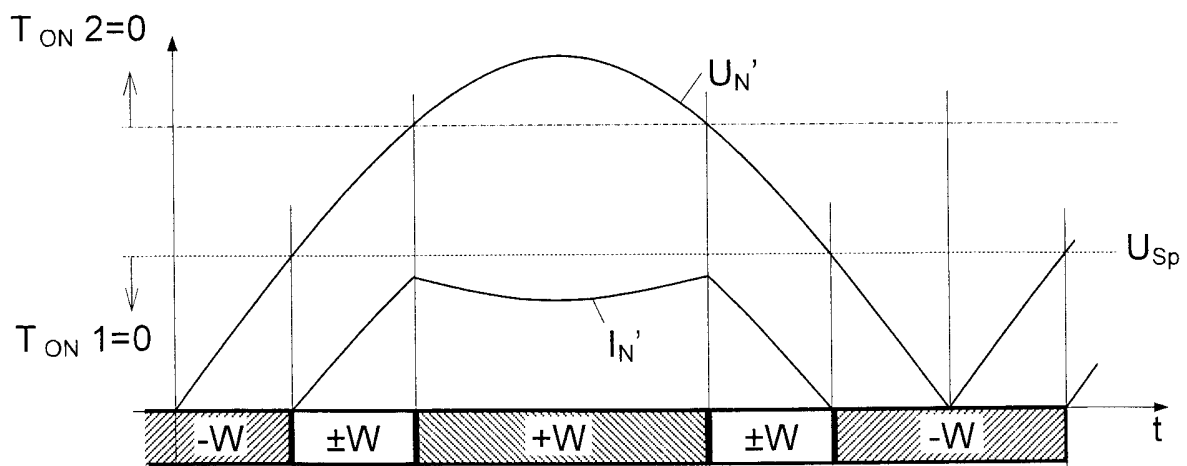


Fig. 5

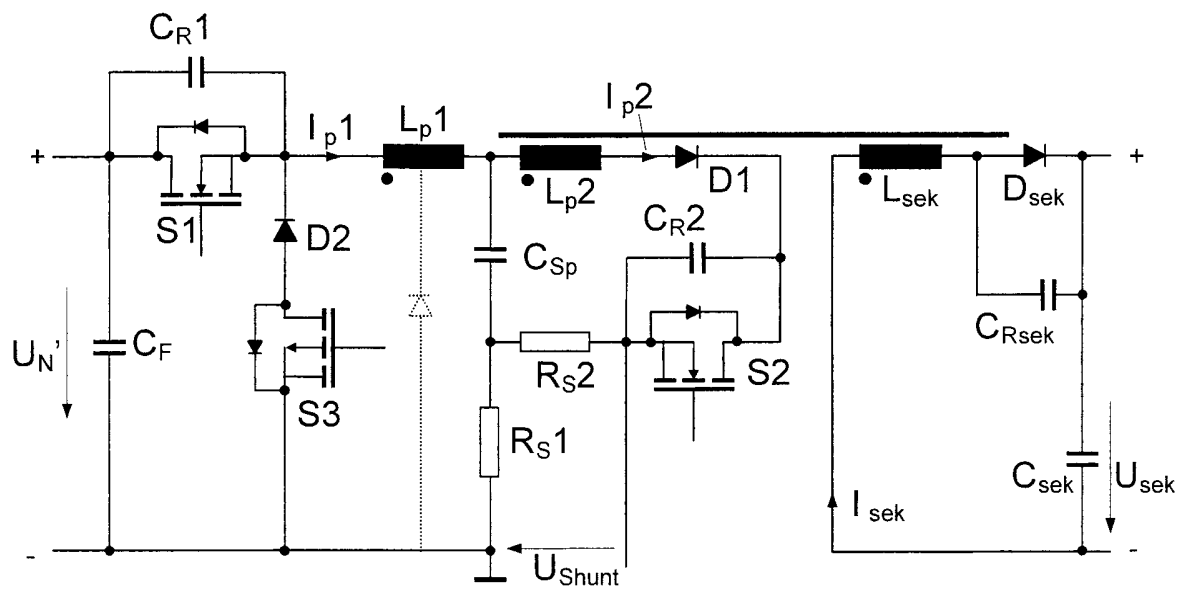


Fig. 6

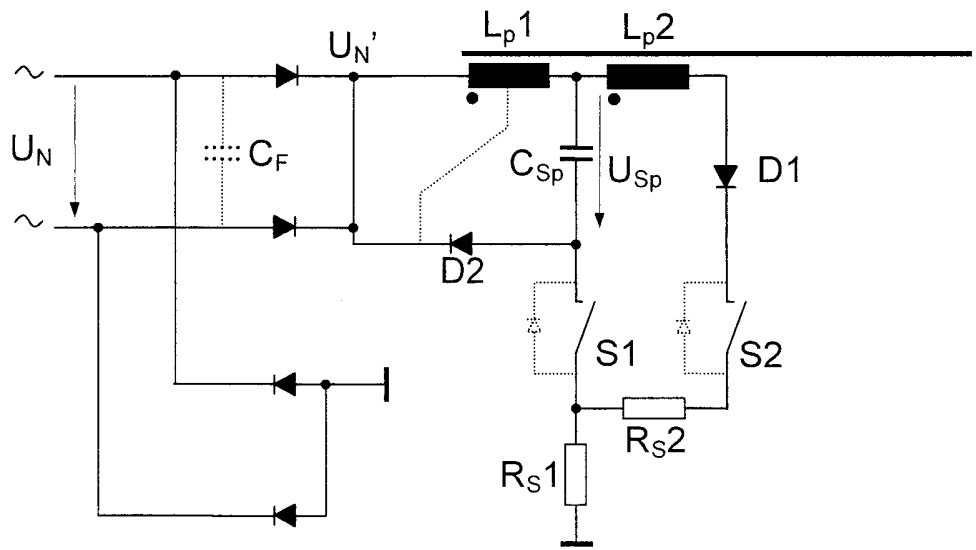


Fig. 7

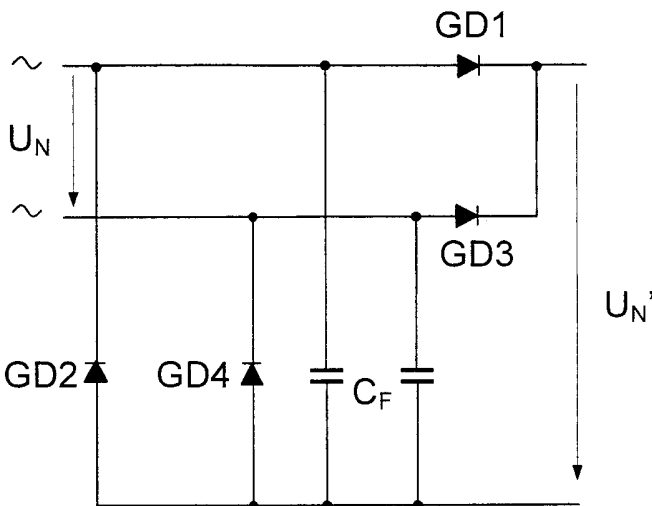


Fig. 8

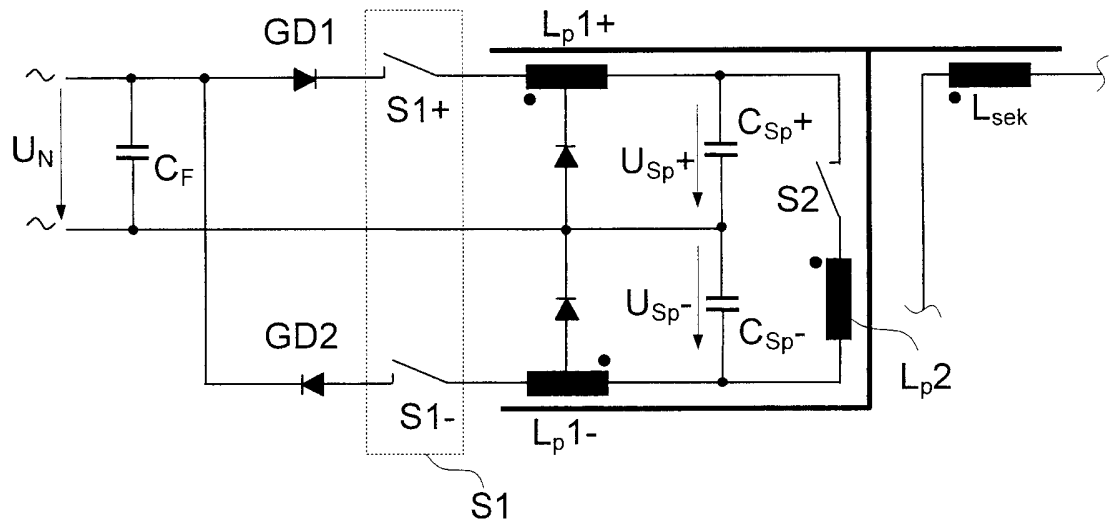


Fig. 9

Geändert Patentansprüche

1. Wandler zur Umwandlung einer eingangsseitigen Wechselspannung (U_N) in eine ausgangsseitige Gleichspannung (U_{sek}), wobei eine Leistungsfaktorkorrektur vorgesehen ist und der Wandler einen Transformator mit wenigstens zwei in Serie angeordneten Primärwicklungen (L_{p1} , L_{p2}) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) in Reihe mit einer ersten Primärwicklung (L_{p1}) mittels eines ersten Schalters ($S1$) getaktet über Gleichrichtungselemente ($GD1$, $GD2$, $GD3$, $GD4$) an die Wechselspannung (U_N) schaltbar ist und dass eine zweite Primärwicklung (L_{p2}) mittels eines zweiten Schalters ($S2$) getaktet an die Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) schaltbar ist.
2. Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Filterkondensatoreinheit (C_F) angeordnet ist, welche an einen Leiter der Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist und der Gleichrichtungselemente ($GD1$, $GD2$, $GD3$, $GD4$) nachgeordnet sind.
3. Wandler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transformator wenigstens eine Sekundärwicklung (L_{sek}) umfasst, an welche über eine sekundärseitige Gleichrichterschaltung (D_{sek}) ein Ausgangskondensator (C_{sek}) angeschlossen ist.
4. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Schalter ($S1$) in Reihe mit der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung (L_{p1}) und Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) angeordnet ist und dass der zweite Schalter ($S2$) in Reihe mit der zweiten Primärwicklung (L_{p2}) angeordnet ist.
5. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Verbindung zwischen den beiden Primärwicklungen (L_{p1} , L_{p2}) an einen Anschluss der

Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) angeschlossen ist, deren zweiter Anschluss an ein Bezugspotenzial angeschlossen ist.

6. Wandler nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**
5 die Reihenschaltung bestehend aus zweiter Primärwicklung (L_{p2}) und zweitem Schaltelement ($S2$) parallel zu der Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) angeordnet ist.

7. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch**
10 **gekennzeichnet, dass** parallel zu der Reihenschaltung bestehend aus erster Primärwicklung (L_{p1}) und Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) eine Freilaufdiode ($D2$) angeordnet ist, dass die Speicher kondensatoreinheit (C_{sp}) über den ersten Schalter ($S1$), insbesondere in Reihe mit
15 einem ersten Strommesswiderstand (R_{s1}), mit einem Bezugspotenzial verbunden ist und dass die zweite Primärwicklung (L_{p2}) über den zweiten Schalter ($S2$), insbesondere in Reihe mit dem ersten und einem zweiten Strommesswiderstand (R_{s1} , R_{s2}), mit demselben Bezugspotenzial
20 verbunden ist.

8. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch**
gekennzeichnet, dass der erste Schalter ($S1$) ein erstes und ein zweites Schaltelement ($S1+$, $S1-$) umfasst, dass die
25 erste Primärwicklung (L_{p1}) in eine erste und in eine zweite Teilwicklungen (L_{p1+} , L_{p1-}) aufgeteilt ist, dass die erste Teilwicklung (L_{p1+}) in Serie mit dem ersten Schaltelement ($S1+$) und mit einem positiv aufgeladenen Speicher kondensator (C_{sp+}) über ein erstes Gleichrichterelement ($GD1$) an die
30 Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist und dass die zweite Teilwicklung (L_{p1-}) in Serie mit dem zweiten Schaltelement ($S1-$) und einem negativ aufgeladenen Speicher kondensator (C_{sp-}) über ein zweites Gleichrichterelement ($GD2$) an die Wechselspannung (U_N) angeschlossen ist.

35

9. Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch**
gekennzeichnet, dass ein drittes Schaltelement ($S3$) in

einem Freilaufpfad der ersten Primärwicklung (L_{p1}) angeordnet ist.

10. Verfahren zum Betreiben eines Wandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer ersten Ladephase eines Arbeitstakts ein erster Primärstrom (I_{p1}) durch die erste Primärwicklung (L_{p1}) des Transformators in die Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) fließt und dass in einer zweiten Ladephase ein zweiter Primärstrom (I_{p2}) aus der Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) durch die zweite Primärwicklung (L_{p2}) des Transformators fließt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** während einer Ladephase zu Beginn der erste Schalter ($S1$) eingeschaltet und der zweite Schalter ($S2$) ausgeschaltet wird und anschließend der zweite Schalter eingeschaltet ($S2$) und der erste Schalter ($S1$) ausgeschaltet wird und der zweite Schalter ($S2$) so lange eingeschaltet bleibt, bis der zweite Primärstrom (I_{p2}) durch das zweite Schaltelement ($S2$) einen vorgegebenen Schwellenwert ($I_{p_{soll}}$) erreicht.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis der Einschaltzeitdauern (T_{ON1} , T_{ON2}) des ersten ($S1$) und des zweiten Schalters ($S2$) in der Weise geregelt wird, dass die Spannung (U_{sp}) an der Speicherkondensatoreinheit (C_{sp}) im Mittel konstant bleibt.