



(10) **DE 10 2011 079 053 A1** 2013.01.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 079 053.5**

(22) Anmeldetag: **13.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **H02M 5/257 (2011.01)**

(71) Anmelder:  
**Singulus Technologies AG, 63796, Kahl, DE**

(74) Vertreter:  
**Vossius & Partner, 81675, München, DE**

(72) Erfinder:  
**Becker, Wolfgang, 64850, Schaafheim, DE; Rüth, Edgar, 63796, Kahl, DE; Klein, Benedikt, 63768, Hösbach, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

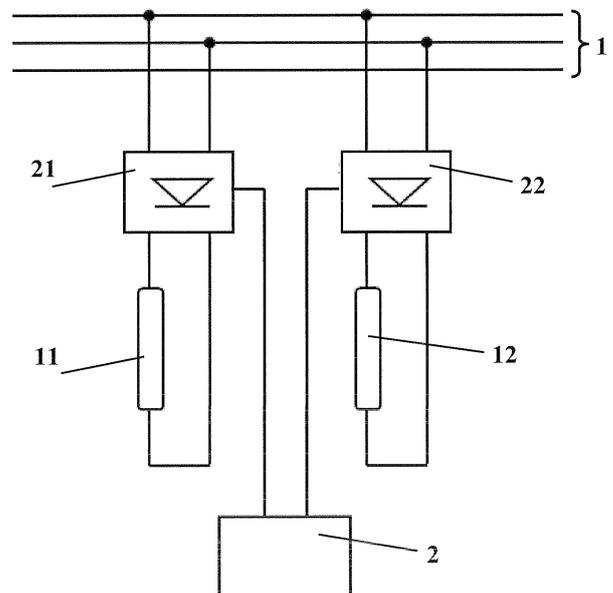
<b>DE</b>	<b>10 2007 059 789</b>	<b>B3</b>
<b>DE</b>	<b>197 05 907</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>692 03 609</b>	<b>T2</b>
<b>US</b>	<b>2011 / 0 064 444</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 004 957</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>1 529 335</b>	<b>B1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb von mehreren Verbrauchern in Wechselstromnetzen mit Phasenanschnitt**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines ersten und eines zweiten elektrischen Verbrauchers in einem Wechselstromnetz. Das Verfahren kann in einem ersten Betriebsmodus betrieben werden, in dem die positiven und negativen Halbwellen für jeden Verbraucher mit einem ersten Phasenanschnittwinkel angesteuert werden. Zudem kann für Fälle, in denen der erste Phasenanschnittwinkel mindestens  $90^\circ$  beträgt in einen zweiten Betriebsmodus umgeschaltet werden durch Abschalten der negativen Halbwellen für den ersten Verbraucher und der positiven Halbwellen für den zweiten Verbraucher, und durch Ansteuern der positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher und der negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit einer ersten und einer zweiten Phasenanschnittsteuerung für den ersten und den zweiten Verbraucher.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Betrieb von mehreren Verbrauchern in Wechselstromnetzen mit Phasenanschnitt.

**[0002]** Insbesondere in Vorrichtungen zur Herstellung von Dünnschichtsolarzellen werden Heizprozesse mit großer Leistung gefordert, wobei zur Prozessoptimierung auch Steuerbereiche mit relativ kleiner Heizleistung ermöglicht werden soll. Hierzu werden unter anderem Phasenanschnittsteuerungen eingesetzt, um Substrate, z. B. aus Glas, möglichst homogen aufzuheizen.

**[0003]** Nachteilig bei Phasenanschnittsteuerungen ist der nicht-sinusförmige Verlauf des Stroms, da der Strom nur in einem Teil der Halbwelle fließt. Je kleiner der erforderliche Strom, umso größer ist der Ansnchnittwinkel (z. B.  $90^\circ$  bis  $180^\circ$  entsprechend 50% bis 0%) und umso mehr weicht die Kurvenform des Stroms von der Sinusform ab. Dies führt zu Rückwirkungen in Form von Oberschwingungen auf das einspeisende Netz. Diese Rückwirkungen sind z. B. nach bestimmten Normwerken (z. B. EN61000-3-2, EN61000-3-12, EN61000-2-2, EN61000-2-4 und EN 50160) zu begrenzen, da die von Oberschwingungsströmen in den Versorgungsnetzen hervorgerufenen Verluste dabei erheblich sein können.

**[0004]** Zur Reduzierung von Oberwellen schlägt die DE 197 05 907 A1 vor, dass eine Variation des Zündwinkels um den vorgegebenen Zündwinkelsollwert herum vorgenommen wird, um eine Leistungssteuerung von an ein Wechselspannungsversorgungsnetz angeschlossenen elektrischen Verbrauchern durch eine Phasenanschnittschaltung zu schaffen.

**[0005]** EP 1 529 335 B1 stellt eine Vorrichtung bereit, bei der ein zweites Schaltungselement früher leitend geschaltet wird und dadurch ein Strom fließt, der nach dem Zünden des eigentlichen ersten Schaltungselements von diesem übernommen wird. Hierdurch wird ein sanfterer Anstieg des Stroms insgesamt erreicht, so dass sich die Oberwellen dadurch reduzieren bzw. teilweise auslöschen sollen.

**[0006]** Die DE 10 2007 059 789 B3 schlägt vor, den Zündwinkel je Halbwelle der Wechselspannung in einer wiederkehrenden Sequenz derart zu wählen, dass die Leistung sinusförmig variiert, ohne dass das Gleichgewicht der Leistung zwischen positiven und negativen Halbwellen im Mittel aufgehoben wird. Somit sei es möglich, die erzeugten Oberwellen derart zu gestalten, dass sich diese im Mittel auslöschen können.

**[0007]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Re-

duzierung von Oberwellen bei Lastbetrieb mit Phasenanschnitt über einen größeren Leistungsregelbereich und auch bei relativ geringer Last bereitzustellen, um z. B. ein besonders gleichmäßiges Erwärmungsprofil für Glassubstrate zu erzielen. Hierfür sollen v. a. wirtschaftlich tragbare Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte aus den oben beschriebenen Regelwerken gefunden werden. Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Patentansprüche gelöst.

**[0008]** Die Erfindung geht aus von dem Konzept einer üblichen Phasenanschnittsteuerung von zwei oder mehr Verbrauchern, bei dem beide Verbraucher beide phasenanschnittgesteuerte Halbwellen nutzen. Wie vorstehend dargelegt, sind bei kleinerer Last der Verbraucher die Störungen und Rückwirkungen auf das Netz groß, zumal sich die Einschaltphasen für die beiden Verbraucher überlagern. Falls die Last relativ gering ist und der Phasenanschnittwinkel bei diesem bekannten Konzept (erster Phasenanschnittwinkel) im Bereich von  $180^\circ$  bis  $90^\circ$ , also die Belastung jeder Halbwelle im Bereich von 0% bis 50% liegt, kann erfindungsgemäß ein anderer Betriebsmodus aktiviert werden, bei dem der eine Verbraucher nur die positiven Halbwellen und der andere Verbraucher nur die negativen Halbwellen nutzt.

**[0009]** Dadurch kann auch bei relativ geringer Leistungsaufnahme der Verbraucher der Phasenanschnittwinkel (= zweiter Phasenanschnittwinkel) der beiden Halbwellen und damit die Abweichung der Stromkurve von der Sinusform gegenüber der bekannten Lösung (mit dem ersten Phasenanschnittwinkel) verkleinert werden, so dass die Rückwirkungen auf das Netz in Form von Oberwellen verringert werden.

**[0010]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren in einem Wechselstromnetz, bei dem ein erster und ein zweiter elektrischer Verbraucher im Lastbetrieb von 0% bis 50% betrieben werden sollen. Erfindungsgemäß werden die negativen Halbwellen für den ersten Verbraucher und die positiven Halbwellen für den zweiten Verbraucher abgeschaltet und die positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher und die negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher (z. B. mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel) angeschaltet, also die negativen Halbwellen nur für den einen Verbraucher und die positiven Halbwellen nur für den anderen Verbraucher genutzt.

**[0011]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines ersten und eines zweiten elektrischen Verbrauchers in einem Wechselstromnetz sieht einen ersten Betriebsmodus vor, in dem die positiven und negativen Halbwellen für jeden Verbraucher mit einem ersten Phasenanschnittwinkel angesteuert werden. Zudem wird, falls der erste Phasenanschnittwinkel mindestens  $90^\circ$  beträgt, in einen zweiten Betriebsmodus umgeschaltet durch Abschalten der negativen

Halbwellen für den ersten Verbraucher und der positiven Halbwellen für den zweiten Verbraucher und Ansteuern der positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher und der negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel.

**[0012]** Die Erfindung kann auch ein Verfahren zum Betrieb eines ersten und eines zweiten elektrischen Verbrauchers in einem Wechselstromnetz betreffen, wobei das Verfahren nur den oben beschriebenen ersten oder nur den oben beschriebenen zweiten Betriebsmodus umfasst.

**[0013]** Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Betrieb von elektrischen Verbrauchern in einem Wechselstromnetz mit einem ersten Phasenanschnittwinkel von mindestens  $90^\circ$ , insbesondere eine Vorrichtung zur Durchführung eines der oben und/oder unten definierten Verfahrens. Die Vorrichtung umfasst eine erste und eine zweite Phasenanschnittsteuerung für einen ersten und einen zweiten (elektrischen) Verbraucher, wobei die erste Phasenanschnittsteuerung geeignet ist, für den ersten Verbraucher die negativen Halbwellen abzuschalten, und wobei die zweite Phasenanschnittsteuerung geeignet ist, für den zweiten Verbraucher die positiven Halbwellen abzuschalten. Die Phasenanschnittsteuerungen sind zudem geeignet, die positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher und die negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel anzusteuern.

**[0014]** In einer Ausführungsform umfassen die elektrischen Verbraucher Lampen, wie IR-Strahler für Heizprozesse zum Herstellen von Dünnschichtsolarzellen.

**[0015]** Eine Phasenanschnittsteuerung kann den Stromfluss in einem Wechselstromnetz derart steuern, dass nach dem Nulldurchgang der Wechselspannung der Strom so lange nicht zu dem Verbraucher fließt, bis die Steuerung einen Zündimpuls erhält. Bei dieser Phase des Wechselstromsignals, der ein bestimmter Phasenanschnittwinkel zugeordnet werden kann, wird der angeschlossene Verbraucher bis zum nächsten Nulldurchgang mit Strom versorgt. Die Dauer vom Nulldurchgang bis zum Zündimpuls wird hierbei als Phasenanschnitt bezeichnet, wobei mit größerer Dauer (kleinerem Phasenanschnitt, z. B. zwischen  $0\%$  und  $50\%$ , und größerem Phasenanschnittwinkel, z. B.  $180^\circ$  und  $90^\circ$ ) die Leistung geringer wird. Anders ausgedrückt, beträgt ein Phasenanschnitt  $100\%$  liegt keine Verzögerung des Zündimpulses vor (Phasenanschnittwinkel von  $0^\circ$ ), während ein Phasenanschnitt von  $0\%$  der maximalen Verzögerung bis zum Nulldurchgang entspricht (Phasenanschnittwinkel von  $180^\circ$ ).

**[0016]** Gemäß der Erfindung werden die negativen bzw. positiven (Sinus-)Halbwellen des Netzstroms für den ersten und zweiten Verbraucher abgeschaltet und diese mit einem anderen, für die Verbraucher untereinander gleichen zweiten Phasenanschnittwinkel angesteuert als für den Fall, dass die Halbwellen nicht abgeschaltet werden. Dadurch ist es möglich, trotz Abschaltung bestimmter Halbwellen, die Leistung für die beiden Verbraucher im Vergleich zu dem Fall ohne Abschaltung der Halbwellen beizubehalten. Zudem kann durch das Abschalten bestimmter Halbwellen eine konstruktive Überlagerung der Belastung durch den ersten und den zweiten Verbraucher verhindert werden.

**[0017]** In einer Ausführungsform des Verfahrens und der Vorrichtung ist der zweite Phasenanschnittwinkel (bei nur positiven oder nur negativen Halbwellen für einen Verbraucher) kleiner als der erste Phasenanschnittwinkel (bei Nutzung sowohl der positiven als auch der negativen Halbwellen für jeden Verbraucher). Durch das Abschalten bestimmter Halbwellen kann also der zweite Phasenanschnitt gegenüber dem ersten Phasenanschnitt verkürzt werden, um die gleiche Leistung (im Vergleich zu dem Fall ohne Abschalten der Halbwellen) zu erreichen.

**[0018]** Dadurch kann die Leistung bei abgeschalteten Halbwellen an die Leistung ohne Abschaltung der Halbwellen angepasst werden, insbesondere kann das Abschalten der Halbwellen so kompensiert werden.

**[0019]** In einer Ausführungsform des Verfahrens und der Vorrichtung ist der erste Phasenanschnitt doppelt so groß wie der zweite Phasenanschnitt. Je größer der Phasenanschnitt, desto länger ist die Verzögerung, bis ein Verbraucher mit Energie versorgt werden kann, und desto kleiner ist somit die Leistung. Um einen Leistungsverlust durch Abschalten der Halbwellen zu kompensieren, kann z. B. die Verzögerung bis zum Stromfluss, also der Phasenanschnitt, auf die Hälfte reduziert werden zur Ansteuerung der nicht abgeschalteten Halbwellen.

**[0020]** In einer Ausführungsform können die Verbraucher derart synchronisiert werden, vorzugsweise durch die oben beschriebene Vorrichtung, dass sich die angesteuerten positiven und negativen Halbwellen nicht konstruktiv und/oder destruktiv überlagern. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass sich die Belastungsamplituden für das Stromnetz auch nur teilweise addieren.

**[0021]** In einer Ausführungsform stellen die oben beschriebenen Verfahrensschritte den zweiten Betriebsmodus dar, bei dem der eine Verbraucher nur die positiven oder nur die negativen Halbwellen nutzt und der andere Verbraucher nur die anderen (entweder nur die negativen oder nur die positiven) Halb-

wellen nutzt. Zudem kann das Verfahren von dem zweiten in den ersten Betriebsmodus (insbesondere automatisch) umschalten. Im ersten Betriebsmodus nutzt jeder Verbraucher sowohl die positiven als auch die negativen Halbwellen. Ein Umschalten von dem zweiten in den ersten Betriebsmodus ist jederzeit möglich, wird jedoch dann notwendig, wenn im zweiten Betriebsmodus bei Verringerung des Phasenanschnittwinkels bis  $0^\circ$  eine weitere Erhöhung des Lastbereichs erforderlich wird.

**[0022]** Somit können die elektrischen Verbraucher in dem ersten Betriebsmodus derart betrieben werden, dass positive und negative Halbwellen sowohl für den ersten, als auch für den zweiten Verbraucher angesteuert werden. In diesem zweiten Betriebsmodus findet somit keine Abschaltung bestimmter Halbwellen statt, so dass durch die Kombination der beiden Betriebsmodi ein größerer Leistungsregelbereich bereitgestellt wird.

**[0023]** Dementsprechend kann auch die oben beschriebene, erfindungsgemäße Vorrichtung eingerichtet sein, diesen ersten Betriebsmodus durchzuführen. Ferner können Mittel zum Umschalten zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus und/oder umgekehrt vorgesehen sein, so dass aus dem ersten Betriebsmodus, bei dem beide Verbraucher beide Halbwellen nutzen und festgestellt wird, dass der Phasenanschnittwinkel im Bereich von  $180^\circ$  bis  $90^\circ$ , vorzugsweise in einem Bereich von weniger als  $180^\circ$  und mehr als  $90^\circ$ , liegt, in einen zweiten Betriebsmodus umgeschaltet wird, in dem der eine Verbraucher nur die eine Halbwelle und der andere Verbraucher nur die andere Halbwelle nutzt, und beim Umschalten der Phasenanschnittwinkel so verkleinert wird, dass der Wegfall der Halbwelle für den jeweiligen Verbraucher bezüglich der Leistung kompensiert wird, und/oder so dass aus dem zweiten Betriebsmodus, bei dem festgestellt wird, dass der Phasenanschnittwinkel gegen  $0^\circ$  geht oder  $0^\circ$  beträgt, in den ersten Betriebsmodus umgeschaltet wird, und beim Umschalten der Phasenanschnittwinkel so vergrößert wird, dass die Zuschaltung der Halbwelle für die beiden Verbraucher bezüglich der Leistung kompensiert wird.

**[0024]** Im Rahmen der Erfindung können auch mehr als zwei Verbraucher eingesetzt werden. In diesem Fall werden die Verbraucher in zwei Verbrauchergruppen eingeteilt deren Netzbelastung möglichst gleich oder annähernd gleich sein kann. Die beiden Verbrauchergruppen können dann wie die vorstehend beschriebenen zwei Verbraucher erfindungsgemäß betrieben werden.

**[0025]** Das erfindungsgemäße Prinzip kann entsprechend auch bei einer Phasenabschnittsteuerung eingesetzt werden, bei der der Strom zwischen dem Nulldurchgang und dem Zündimpuls fließt.

**[0026]** Die Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0027]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Beispielschaltung,

**[0028]** [Fig. 2\(a\)](#) die Netzbelastung durch einen ersten Verbraucher mit einem ersten Phasenanschnitt von 35%,

**[0029]** [Fig. 2\(b\)](#) die Netzbelastung durch einen zweiten Verbraucher mit einem ersten Phasenanschnitt von 35%,

**[0030]** [Fig. 2\(c\)](#) die Gesamt-Netzbelastung durch die beiden Verbraucher aus [Fig. 2\(a\)](#) und [Fig. 2\(b\)](#).

**[0031]** [Fig. 3\(a\)](#) die Netzbelastung durch einen ersten Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 70% mit ausgeschalteter negativen Halbwelle,

**[0032]** [Fig. 3\(b\)](#) die Netzbelastung durch einen zweiten Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 70% mit ausgeschalteter positiven Halbwelle,

**[0033]** [Fig. 3\(c\)](#) die Gesamt-Netzbelastung durch die beiden Verbraucher aus [Fig. 3\(a\)](#) und [Fig. 3\(b\)](#).

**[0034]** [Fig. 4](#) die Gesamt-Netzbelastung aus [Fig. 3\(c\)](#) im Vergleich mit der Gesamt-Netzbelastung aus [Fig. 2\(c\)](#),

**[0035]** [Fig. 5](#) die Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 40% mit ausgeschalteten negativen bzw. positiven Halbwellen im Vergleich mit der Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit 20% Phasenanschnitt und ohne Ausschaltung der jeweiligen Halbwellen,

**[0036]** [Fig. 6](#) die Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 98% mit ausgeschalteten negativen bzw. positiven Halbwellen im Vergleich mit der Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit 49% Phasenanschnitt und ohne Ausschaltung der jeweiligen Halbwellen, und

**[0037]** [Fig. 7](#) das Verhältnis der Amplituden der Oberwellen für einen Phasenanschnitt von 35% wie in [Fig. 2\(c\)](#) und für einen Phasenanschnitt von 70% mit abgeschalteten Halbwellen wie aus [Fig. 3\(c\)](#) aus Fouriertransformation.

**[0038]** [Fig. 1](#) zeigt eine Beispielschaltung für eine Vorrichtung mit zwei Verbrauchern **11**, **12** und zwei Phasenanschnittsteuerungen (Steller) **21**, **22** zur Regelung des Stromflusses and einem Wechselstromnetz **1**. Die Phasenanschnittsteuerung verzögert nach dem Nulldurchgang des Wechselstroms den Stromfluss und schaltet diesen bei einem bestimmten Phasenanschnittwinkel ein („Ansteuern“),

so dass der Strom bis zum nächsten Nulldurchgang fließt. Die Ansteuerung erfolgt mit Hilfe der Steuerschaltung **2**. Ein (inverses) Maß für die Dauer der Verzögerung des Stromflusses ist der Phasenanschnitt, er ist groß bei kleinen Phasenanschnittswinkeln und klein bei großen Phasenanschnittswinkeln. Die Verbraucher **11**, **12** sind parallel geschaltet und können aus dem Wechselstromnetz **1** betrieben werden. Der erste Verbraucher **11** wird von der ersten Phasenanschnittsteuerung **21** angesteuert, während die zweite Phasenanschnittsteuerung **22** den zweiten Verbraucher **12** ansteuert. Die Phasenanschnittsteuerungen **21**, **22** können mit Hilfe der Steuerschaltung **2** die negative bzw. positive Halbwelle der Netzphase für den ersten bzw. zweiten Verbraucher **11**, **12** abschalten und sind vorzugsweise derart konfiguriert, dass sie die nicht abgeschalteten Halbwellen mit dem gleichen Phasenanschnittswinkel ansteuern.

**[0039]** Beispielsweise sollen im Lastbetrieb die Verbraucher **11**, **12**, z. B. Lampen wie IR-Strahler für Heizprozesse bei der Herstellung von Dünnschicht-solarzellen, mit einem ersten Phasenanschnittswinkel von mindestens  $90^\circ$  betrieben werden. Hierzu schlägt die vorliegende Erfindung vor, dass die Vorrichtung, insbesondere z. B. die erste Phasenanschnittsteuerung **21**, für den ersten Verbraucher **11** die negativen Halbwellen der Netzphase abschaltet und die positiven Halbwellen, die nicht abgeschaltet werden, mit einem anderen (zweiten) Phasenanschnittswinkel, insbesondere halb so klein ist wie der erste Phasenanschnittswinkel, ansteuert. Für den zweiten Verbraucher **12** schaltet die Vorrichtung, z. B. die zweite Phasenanschnittsteuerung **22**, die positiven Halbwellen der Netzphase ab und steuert die verbleibenden, nicht ausgeschalteten, negativen Halbwellen mit dem zweiten Phasenanschnittswinkel an, insbesondere mit dem gleichen Phasenanschnittswinkel wie im Zusammenhang mit dem ersten Verbraucher **11** beschrieben.

**[0040]** Auf diese Weise kann verhindert werden, dass sich die Netzbelastungen durch die Verbraucher **11**, **12** konstruktiv überlagern, und Oberwellen können reduziert und somit Blindleistungen entsprechend verhindert werden, da – bei gleicher Leistungsabgabe – der zweite Phasenanschnittswinkel bei Abschaltung der Halbwellen kleiner ist als der erste Phasenanschnittswinkel bei Nutzung beider Halbwellen für beide Verbraucher.

**[0041]** Im Folgenden werden Beispiele für bestimmte Phasenanschnitte jeweils mit abgeschalteten Halbwellen und ohne Abschaltung der Halbwellen miteinander verglichen.

**[0042]** **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** zeigt die Netzbelastung durch einen ersten und zweiten Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 35% ohne Abschaltung

der Halbwellen. In **Fig. 2(c)** ist die Gesamt-Netzbelastung durch diese beiden Verbraucher dargestellt, die sich aus der Überlagerung der Kurven aus **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** ergibt. Die Amplitude der Gesamt-Netzbelastung verdoppelt sich demnach bei konstruktiver Überlagerung der Kurven der beiden Verbraucher.

**[0043]** **Fig. 3(a)** stellt nun die Netzbelastung durch einen ersten Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 70% dar, dessen negative Halbwellen ausgeschaltet wurden. Im Vergleich zu dem Phasenanschnittswinkel von 35%, die dem Kurvenverlauf von **Fig. 2(a)** entspricht, wurde hier der doppelte Phasenanschnitt angesteuert, um die gleiche Leistung zu erhalten.

**[0044]** Analog zu **Fig. 3(a)** stellt **Fig. 3(b)** die Netzbelastung durch einen zweiten Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 70% dar. Im Unterschied zu **Fig. 3(a)** wurden hier die positiven Halbwellen (HW) abgeschaltet, so dass nur die negativen Halbwellen (HW) mit der gleichen doppelten Prozentzahl wie in **Fig. 3(a)**, also mit 70%, angesteuert wurden.

**[0045]** Eine Betrachtung der Gesamtbelastung aus den beiden Kurven aus **Fig. 3(a)** und **Fig. 3(b)** ergibt, dass sich die Netzbelastungen der beiden Verbraucher nicht konstruktiv überlagern, siehe **Fig. 3(c)**.

**[0046]** Ein Vergleich der Gesamt-Netzbelastung aus **Fig. 2(c)** (ohne Abschalten der Halbwellen) mit der Gesamt-Netzbelastung aus **Fig. 3(c)** (mit Abschaltung der Halbwellen und doppeltem Phasenanschnitt) ergibt in **Fig. 4**, dass die Netzbelastungsamplituden und die Abweichung der Kurvenform des Stroms von der Sinusform bei gleicher Leistung in dem Fall ohne Ausschalten von Halbwellen deutlich größer sind als in dem Fall mit Ausschalten der entsprechenden Halbwellen.

**[0047]** **Fig. 5** zeigt ein weiteres Beispiel für die Reduktion der Amplituden der Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher. Die Kurve „Steller 1 + Steller 2“ zeigt die Belastung durch zwei Verbraucher mit einem Phasenanschnitt von 20%, wobei die Kurve „Steller 1 + 2 (beide HW)“ die Belastung durch zwei Verbraucher mit abgeschalteten negativen bzw. positiven Halbwellen und einem Phasenanschnitt von 40% darstellt. Auch hier wird deutlich, dass die Amplitude und die Abweichung der Stromkurve von der Sinusform bei abgeschalteten Halbwellen und größerem Phasenanschnitt (und damit gleicher Leistung wie ohne Abschaltung der Halbwellen) kleiner ist also ohne Abschaltung.

**[0048]** **Fig. 6** gibt die entsprechenden Ergebnisse für eine Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit 49% Phasenanschnitt im Vergleich zu der Gesamt-Netzbelastung durch zwei Verbraucher mit ei-

nem Phasenanschnitt von 98% mit ausgeschalteten negativen bzw. positiven Halbwellen wieder.

**[0049]** Eine Betrachtung der Oberwellen durch eine Fouriertransformation ist in **Fig. 7** dargestellt. Hieraus ergibt sich anhand des Beispiels für einen Phasenanschnitt von 35% wie in **Fig. 2(c)** und für einen Phasenanschnitt von 70% mit abgeschalteten Halbwellen wie aus **Fig. 3(c)**, dass das Verhältnis der Amplituden der Oberwellen bei Abschaltung der negativen bzw. positiven Halbwellen und vergrößertem Phasenanschnitt tatsächlich geringer ist.

**[0050]** Auf diese Weise können somit die Belastungen der Versorgungsnetze auch bei Anlagen mit hohen Lastströmen, die durch Phasenanschnitt gesteuert werden, reduziert werden. Durch die oben beschriebene Reduzierung der Oberwellen kann Blindleistung verhindert werden, so dass sich beim Einsatz obigen Verfahrens bzw. der entsprechenden Vorrichtung ein enormes Einsparpotential bei der Auslegung einer Blindleistungskompensationsanlage und somit bei den Energiekosten ergeben kann.

## ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### Zitierte Patentliteratur

- DE 19705907 A1 [0004]
- EP 1529335 B1 [0005]
- DE 102007059789 B3 [0006]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- EN61000-3-2 [0003]
- EN61000-3-12 [0003]
- EN61000-2-2 [0003]
- EN61000-2-4 [0003]
- EN50160 [0003]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Betrieb eines ersten (**11**) und eines zweiten (**12**) elektrischen Verbrauchers in einem Wechselstromnetz, mit:

einem ersten Betriebsmodus, in dem die positiven und negativen Halbwellen für jeden Verbraucher (**11**; **12**) mit einem ersten Phasenanschnittwinkel angesteuert werden, und, falls der erste Phasenanschnittwinkel mindestens  $90^\circ$  beträgt,

Umschalten in einen zweiten Betriebsmodus durch: Abschalten der negativen Halbwellen für den ersten Verbraucher (**11**) und der positiven Halbwellen für den zweiten Verbraucher (**12**) und

Ansteuern der positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher (**11**) und der negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher (**12**) mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher und die negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher mit dem gleichen zweiten Phasenanschnittwinkel angesteuert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der zweite Phasenanschnittwinkel kleiner als der erste Phasenanschnittwinkel ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei der erste Phasenanschnitt größer als der zweite Phasenanschnitt ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, mit: Synchronisieren der Verbraucher (**11**, **12**) derart, dass sich die angesteuerten positiven und negativen Halbwellen nicht konstruktiv und/oder destruktiv überlagern.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, mit: automatischem Umschalten von dem ersten in den zweiten Betriebsmodus, falls der erste Phasenanschnittwinkel mindestens  $90^\circ$  beträgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–6, mit: automatischem Umschalten von dem zweiten in den ersten Betriebsmodus, falls der zweite Phasenanschnittwinkel gegen  $0^\circ$  geht bzw.  $0^\circ$  beträgt.

8. Vorrichtung zum Betrieb von elektrischen Verbrauchern in einem Wechselstromnetz mit einem ersten Phasenanschnittwinkel von mindestens  $90^\circ$ , mit einer ersten (**21**) und einer zweiten (**22**) Phasenanschnittsteuerung für einen ersten (**11**) und einen zweiten (**12**) Verbraucher, wobei die erste Phasenanschnittsteuerung (**21**) geeignet ist, für den ersten Verbraucher (**11**) die negativen Halbwellen abzuschalten,

wobei die zweite Phasenanschnittsteuerung (**22**) geeignet ist, für den zweiten Verbraucher (**12**) die positiven Halbwellen abzuschalten, und

wobei die Phasenanschnittsteuerungen (**21**, **22**) geeignet sind, die positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher (**11**) und die negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher (**12**) mit einem zweiten Phasenanschnittwinkel anzusteuern.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Phasenanschnittsteuerungen (**21**, **22**) geeignet sind, die positiven Halbwellen für den ersten Verbraucher (**11**) und die negativen Halbwellen für den zweiten Verbraucher (**12**) mit dem gleichen zweiten Phasenanschnittwinkel anzusteuern.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei der zweite Phasenanschnittwinkel kleiner als der erste Phasenanschnittwinkel ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10, wobei der erste Phasenanschnitt größer ist als der zweite Phasenanschnitt.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8–11, wobei die Vorrichtung geeignet ist, die Verbraucher (**11**, **12**) derart zu synchronisieren, dass sich die angesteuerten positiven und negativen Halbwellen nicht konstruktiv und/oder destruktiv überlagern.

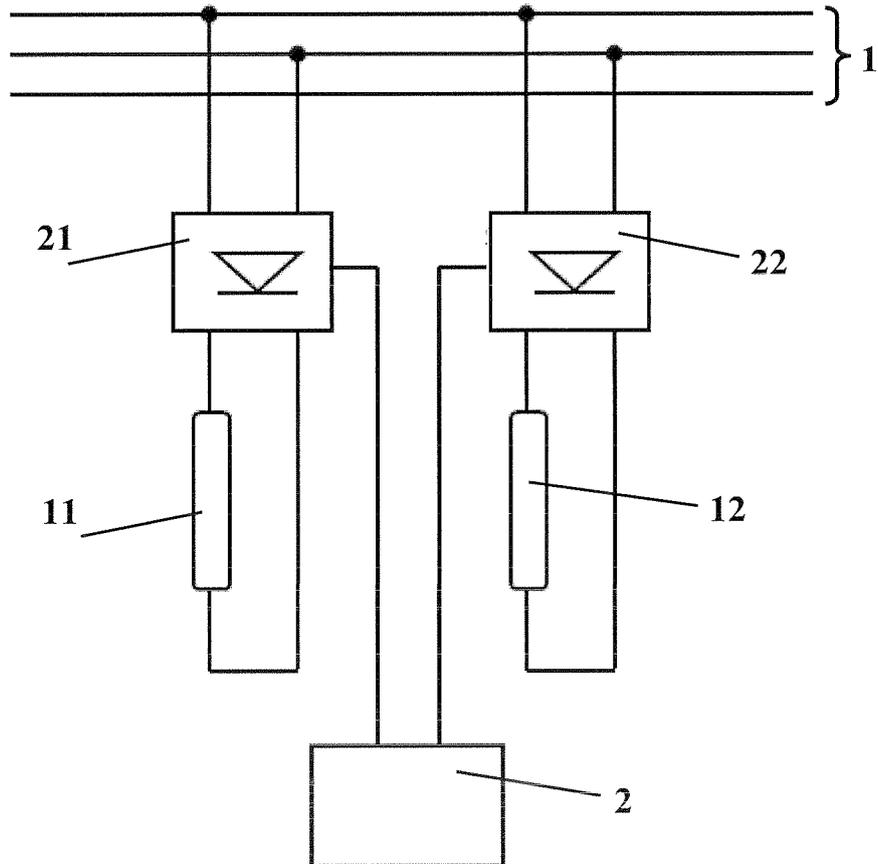
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8–12, wobei die Vorrichtung geeignet ist, die elektrischen Verbraucher (**11**, **12**) in einem Betriebsmodus zu betreiben, in dem die positiven und negativen Halbwellen sowohl für den ersten (**11**) als auch für den zweiten (**12**) Verbraucher angesteuert werden.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei die Vorrichtung geeignet ist, zwischen einem ersten Betriebsmodus, in dem die positiven und negativen Halbwellen sowohl für den ersten (**11**), als auch für den zweiten (**12**) Verbraucher angesteuert werden, und einem zweiten Betriebsmodus, in dem die negativen Halbwellen für den ersten Verbraucher (**11**) und die positiven Halbwellen für den zweiten Verbraucher (**12**) abgeschaltet werden, umzuschalten.

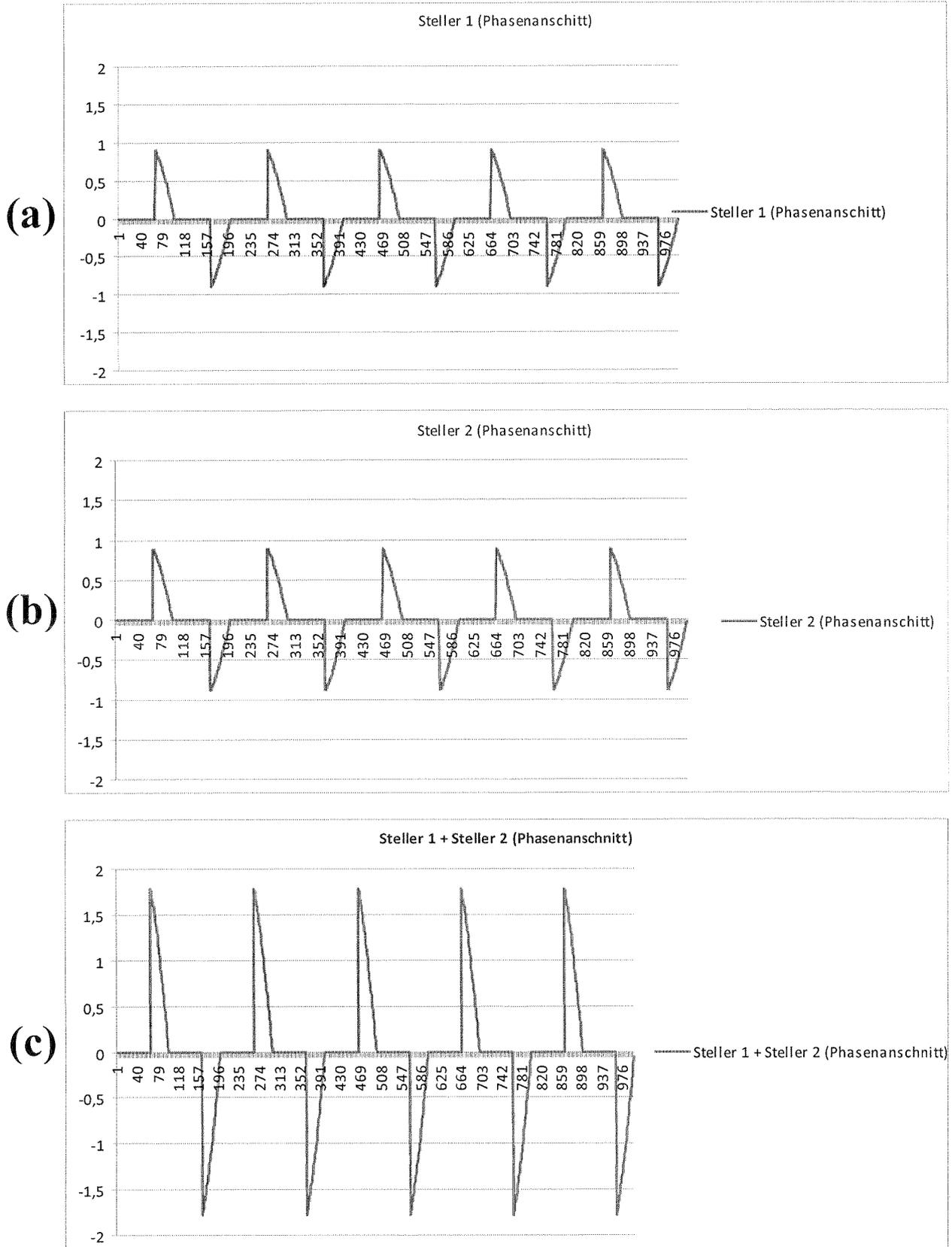
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Vorrichtung geeignet ist, in den zweiten Betriebsmodus umzuschalten, falls der erste Phasenanschnittwinkel mindestens  $90^\circ$  beträgt und/oder in den ersten Betriebsmodus umzuschalten, falls der zweite Phasenanschnittwinkel gegen  $0^\circ$  geht bzw.  $0^\circ$  beträgt.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

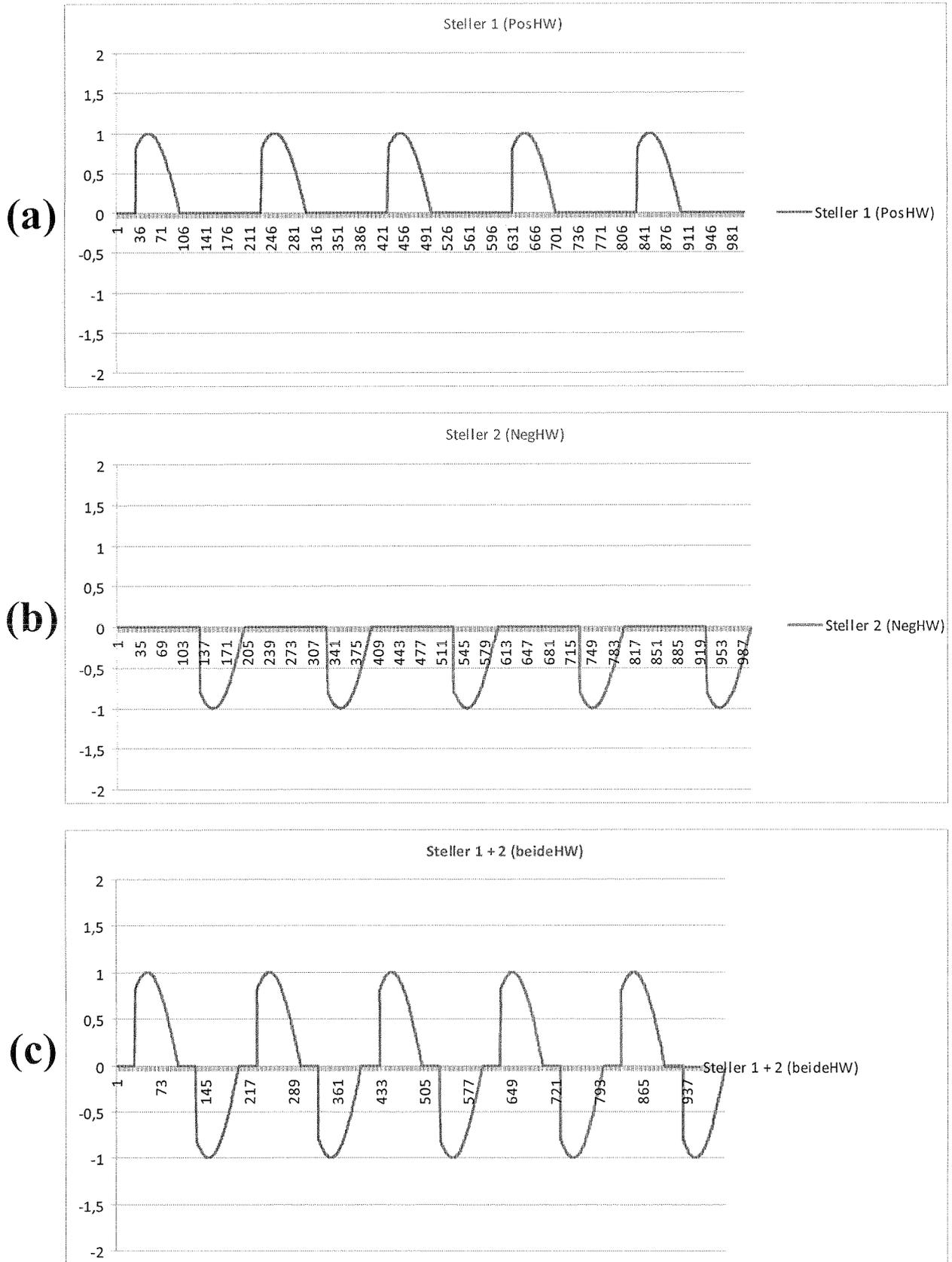
Anhängende Zeichnungen



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

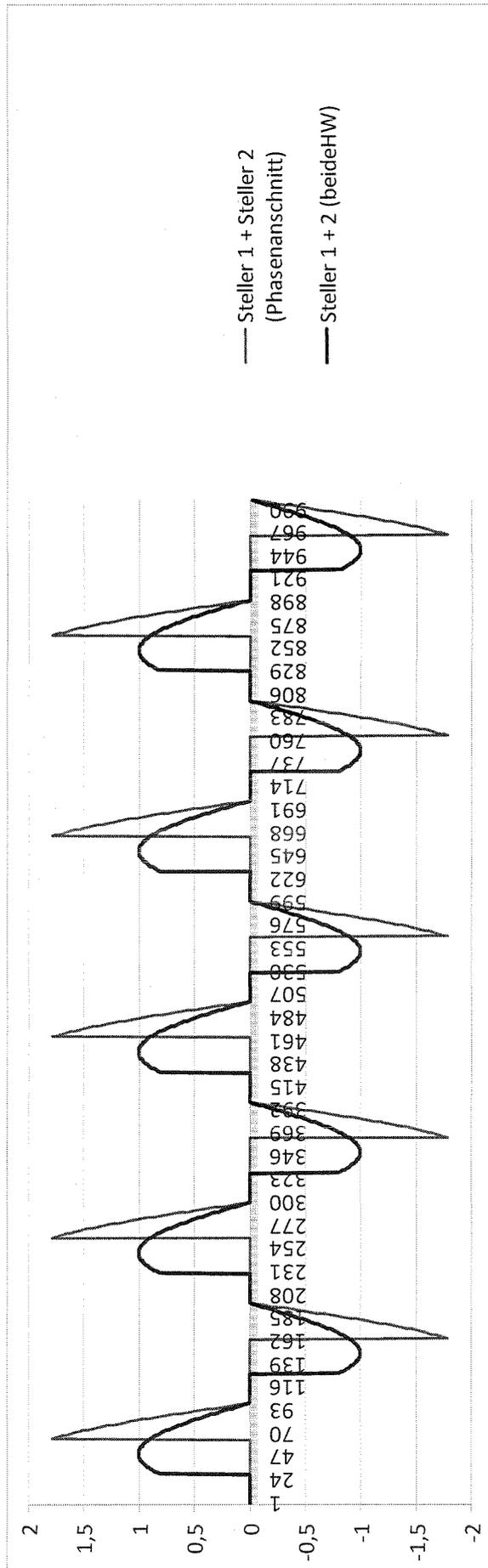


FIG. 4

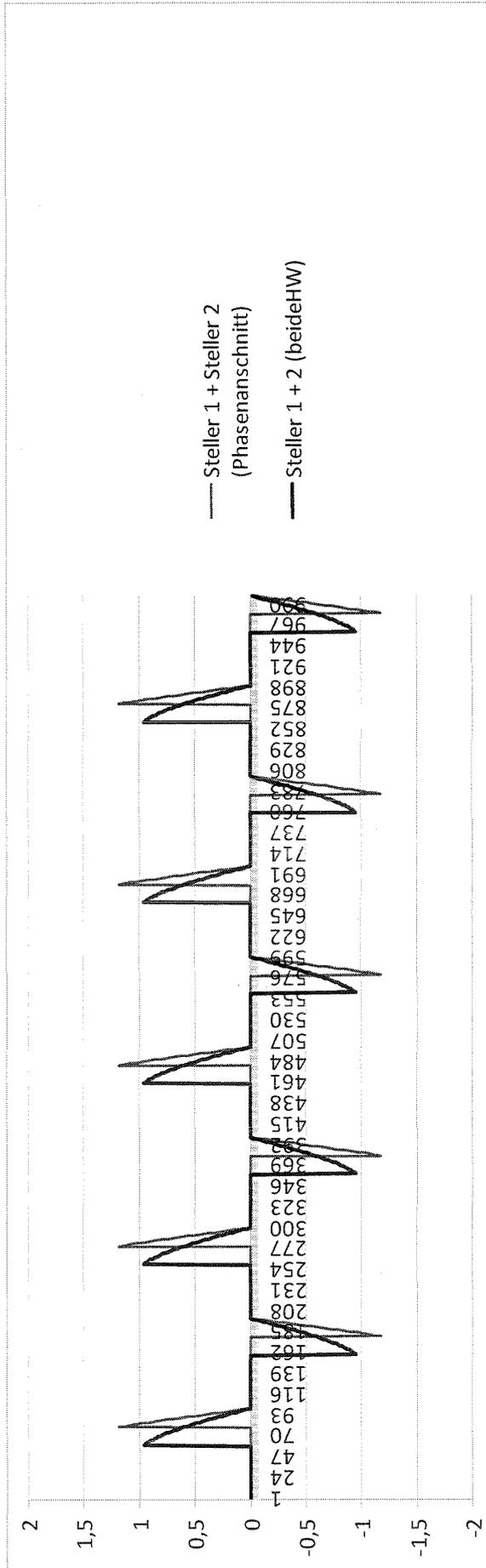


FIG. 5

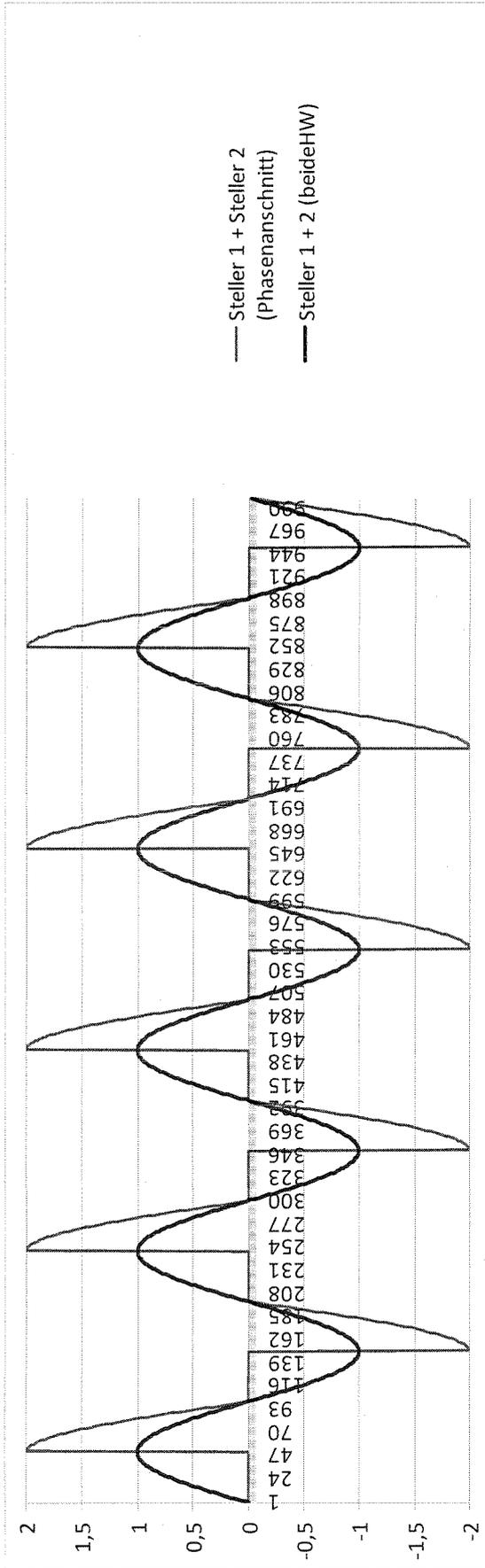
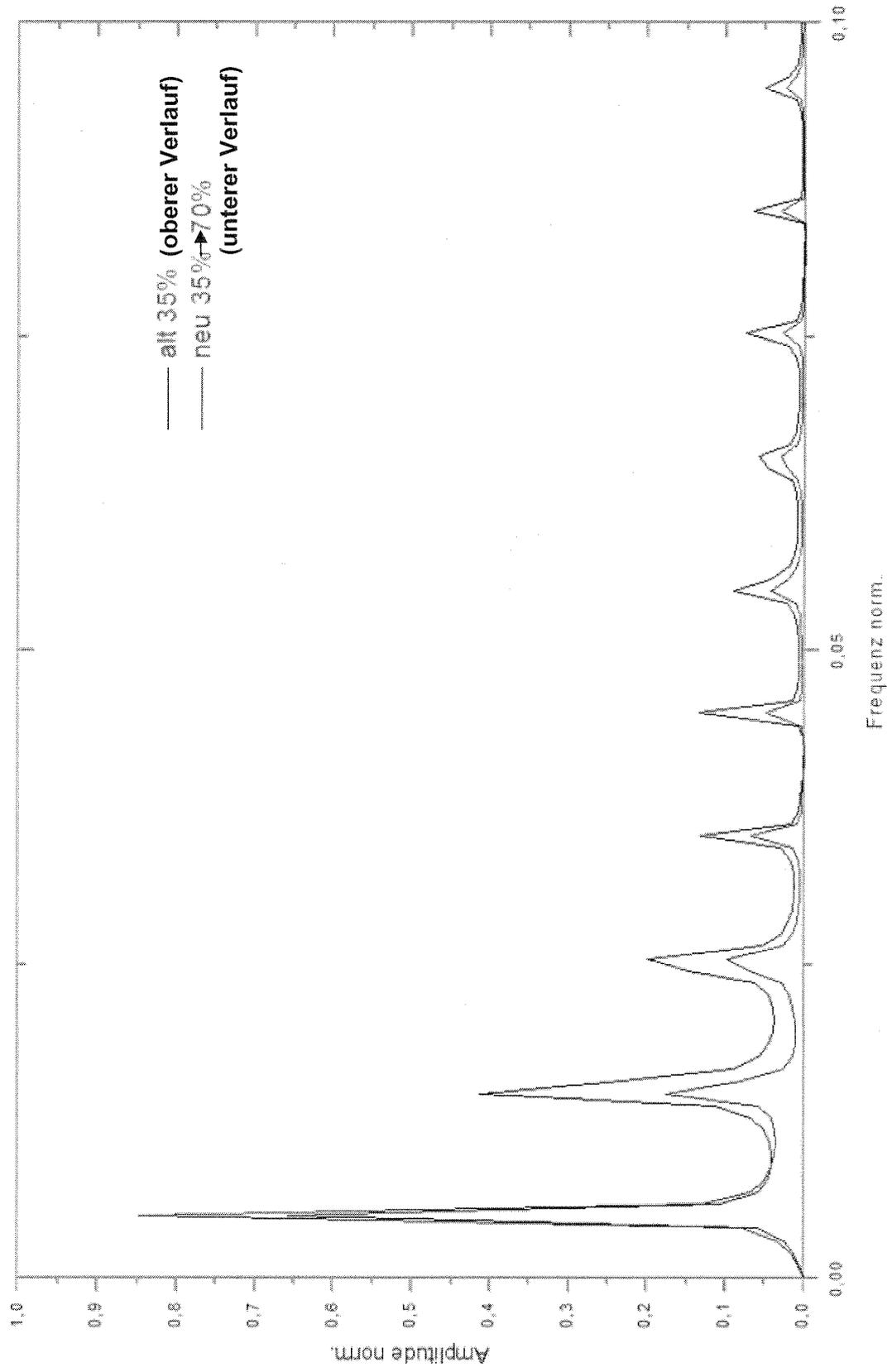


FIG. 6



**FIG. 7**