

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. November 2007 (15.11.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/128271 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03H 1/00 (2006.01) H03H 7/01 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2007/000773

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. April 2007 (30.04.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 021 559.1 8. Mai 2006 (08.05.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): UNIVERSITÄT PADERBORN [DE/DE]; Warburger Strasse 100, 33098 Paderborn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRÖHLEKE, Norbert [DE/DE]; Abbestrasse 39, 33102 Paderborn (DE). KAUC-ZOR, Christopher [DE/DE]; Mühlenstrasse 42, 33803 Steinhagen (DE). LI, Rongyuan [DE/DE]; Kilianstrasse 129a, 33098 Paderborn (DE).

(74) Anwalt: OSTERMANN, Thomas; Klausheider Strasse 31, 33106 Paderborn (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

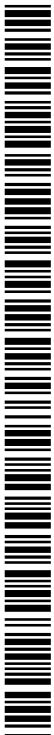
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: FEEDING ARRANGEMENT FOR AN ULTRASONIC DEVICE

(54) Bezeichnung: SPEISEANORDNUNG FÜR EINE ULTRASCHALLVORRICHTUNG

(57) Abstract: The invention relates to a powerful 3-point inverter that is triggered by a pulse width modulator according to a specific pulse pattern (cf. figure 2). The generated inverter voltage is used as an input signal for the LLCC bandpass filter comprising a parallel inductor that is arranged parallel to the ultrasonic device and a series resonant circuit containing at least one series inductor and at least one series capacitor. The LLCC filter additionally comprises the transformer to isolate the potential while also comprising a cable if the ultrasonic actuators are placed at a certain distance such that a low-harmonic, broadband actuator voltage can be generated. The filter utilizes the capacity of the ultrasonic actuator, the capacity of the cable if a connecting cable is required, and the leakage inductance of the transformer.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen leistungsstarken 3-Punkt Wechselrichter, der durch einen Pulsweitenmodulator gemäß Pulsmuster (s. Fig. 2) angesteuert wird. Die erzeugte Wechselrichterspannung dient als Eingangssignal für den LLCC-Bandpassfilter mit einer zur Ultraschallvorrichtung parallel angeordneten Parallelinduktivität und einen Reihenschwingkreis enthaltend mindesten eine Reiheninduktivität und mindestens eine Reihenskapazität. Zur Potentialtrennung enthält das LLCC-Filter noch den Transformator und bei entfernt angeordneten Ultraschall-Aktoren noch ein Kabel. So kann eine Oberschwingungsarme, breitbandige Spannung des Aktors hergestellt werden. Das Filter nutzt die Kapazität des Ultraschallaktors, die Kabelkapazität - falls eine Kabel zur Verbindung erforderlich ist - und die Streuinduktivität des Transformators.



WO 2007/128271 A2

Speiseanordnung für eine Ultraschallvorrichtung

5

Die Erfindung betrifft eine Speiseanordnung für eine Ultraschallvorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

10

Aus der DE 44 46 430 A1 ist eine Ansteueranordnung für eine als ein Ultraschallwandler ausgebildete Ultraschallvorrichtung bekannt, die eine Steuereinrichtung mit einem aus Induktivitäten und Kapazitäten bestehendes Netzwerk umfasst. Das Netzwerk weist einen Reihenschwingkreis auf, dessen Resonanzfrequenz auf die Frequenz eines mittels Rechteckgenerators bereitgestellten Rechtecksignals abgestimmt ist. Die Frequenz des Rechteckgenerators bestimmt zugleich die Frequenz der Sinusschwingung, mit der die Ultraschallvorrichtung beaufschlagt wird. Nachteilig an der bekannten Ansteueranordnung ist, dass die Schaltung für geringe Leistungen konzipiert ist und sie aufgrund der starken Belastung des Transistors und des zwischen zwei Spulen angeordneten Kondensators auch nicht für die nach der Erfindung geforderte Leistung hochskaliert werden kann. Die Schaltung benötigt zusätzlich noch eine regelbare Spannung.

25

Aus der DE 100 09 174 A1 ist eine Ansteueranordnung für eine Ultraschallvorrichtung bekannt, bei der in einer Steuereinrichtung für die Ultraschallvorrichtung ein puls-

30

- 2 -

weitenmoduliertes Signal erzeugt wird. Ein solches puls-
weitenmoduliertes Signal kann beispielsweise mittels eines
Pulsweitenmodulations-Wandlers erzeugt werden, der aus ei-
nem Artikel „Inverter Topologies for Ultrasonic Piezoe-
5 lectric Transducers with High Mechanical Q-Factor“ von C.
Kauczor und N. Fröhleke, Proc. of IEEE Power Electronics
Specialists Conference (PESC) 2004 bekannt ist. In diesem
Artikel werden die Vor- und Nachteile von unterschiedli-
chen Einrichtungen zur Speisung von Ultraschallvorrichtun-
10 gen beschrieben. Als erste Variante wird eine Speiseein-
richtung mit einem LC-Wandler beschrieben, bei der eine
Induktivität in Reihe zu der kapazitiv wirkenden Ultra-
schallvorrichtung geschaltet ist. Dieser Reihenschwing-
kreis wird mit einer Schaltfrequenz betrieben, die in der
15 Nähe der Resonanzfrequenz der Ultraschallvorrichtung
liegt. Vorteilhaft können hierdurch Verzerrungen der Ober-
schwingungen niedrig gehalten werden. Eine alternative
Speiseanordnung kann einen so genannten LLCC-Wandler auf-
weisen, der eine parallel zur Ultraschallvorrichtung ange-
20 ordnete Parallel-Induktivität sowie einen vorgeschalteten
Reihenschwingkreis aufweist. Vorteilhaft kann dieser Wand-
ler robust auf Kapazitätsschwankungen der Ultraschallvor-
richtung reagieren. Nachteilig ist jedoch die höhere Bean-
spruchung der Bauteile des Wandlers sowie die größere Ver-
25 zerrung von Oberschwingungen. Als dritte Variante für die
Speiseanordnung ist ein Pulsweitenmodulations-Wandler
(PWM-Wandler) untersucht worden, der vorteilhaft eine ver-
änderte Einstellung der Resonanzfrequenz ermöglicht. Dar-
über hinaus können die Bauelemente des Wandlers kleiner
30 und leichter ausgebildet sein. Nachteilig sind jedoch die
relativ hohen Schaltverluste und der Kühlaufwand für die
Bauelemente des Wandlers in Folge der erhöhten Schaltfre-
quenz. Die in dem Artikel beschriebenen Speiseanordnungen

beziehen sich ausschließlich auf Ultraschallvorrichtungen mit einer relativ hohen mechanischen Schwinggüte Q_m .

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Speisean-
5 ordnung für eine Ultraschallvorrichtung derart weiter zu entwickeln, dass die Effizienz und Kompaktheit erhöht wird, wobei insbesondere die Verzerrungen von Oberschwingungen niedrig gehalten werden und eine lokale Blindleistungskompensation der Ultraschallvorrichtung gewährleistet
10 ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist die Erfindung in Verbindung mit dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Speiseanordnung ein LLCC-Filter mit ei-
15 ner zur Ultraschallvorrichtung parallel angeordneten Parallelinduktivität und einen Reihenschwingkreis enthaltend mindestens eine Reiheninduktivität und mindestens eine Reihenkapazität aufweist.

Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass die Kombination
20 eines Pulsweitenmodulations-Wandlers (PWM-Wandler) mit einem LLCC-Filter die Kompaktheit der Speiseanordnung erhöht, obwohl hierdurch die Anzahl der Bauelemente steigt. Vorteilhaft können die Bauteile der erfindungsgemäßen
25 Speiseanordnung kleiner dimensioniert werden, da der PWM-Wandler eine geringere elektrische Belastung derselben verursacht. Durch die Parallel-Induktivität kann eine Kompensation der Blindleistungskomponente der Ultraschallvorrichtung erzielt werden, so dass die Bauteile, wie bei-
30 spielsweise die Bauelemente des Reihenschwingkreises und das Kabel zum Anschluss des Aktors bei einer entfernten Positionierung, wegen geringerer Belastung kleiner dimensioniert werden können. Vorteilhaft ermöglicht die Kombi-

nation des PWM-Wandlers mit dem LLCC-Filter, dass zur Abstimmung der Speiseanordnung an unterschiedliche Ultraschallvorrichtungen ein Durchstimmen bzw. Trimmen derselben mit unterschiedlichen Frequenzen erfolgen kann, um sie unter Großsignalanregung zu charakterisieren und die optimalen Resonanz-Moden herauszufinden. Die ressourcenaufwändige Finite-Elemente-Analyse ist dann nicht erforderlich. Vorteilhaft kann hierdurch eine optimierte Abstimmung zwischen der Speiseanordnung und einer beliebigen Ultraschallvorrichtung erzielt werden.

Vorteilhaft ermöglicht der PWM-Wandler, dass die Speiseanordnung als eine Wechselspannungsquelle mit relativ geringem Innenwiderstand wirkt, so dass die Übertragungsfunktion der Ultraschallvorrichtung im Durchlassbereich nicht stark schwankt, so dass das Design des Leistungs- und Steuerteils erleichtert wird. Ferner können infolge Belastungsreduktion das Gewicht sowie die Kosten des Leistungsteils verringert werden. Darüber hinaus vereinfacht die Robustheit des Filters gegenüber Störungen der Piezokapazität C_p als Folge ihrer Exemplarschwankungen und von Temperatureinflüssen auf den Aktor den Entwurf von Leistungs- und Steuerteil erheblich.

Nach einer Variante der Erfindung (Anspruch 4) kann die Resonanzfrequenz des Gesamtschwingkreises einem ganzzahligen Vielfachen der Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises bzw. der Arbeitsfrequenz der Ultraschallvorrichtung entsprechen. Hierdurch können die Bauteile des Serienschwingkreises des LLCC-Filters relativ klein gehalten werden. Ferner wird das dynamische Verhalten dadurch verbessert.

Zusätzliche Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 ein Schaltbild einer Speiseanordnung für Ultraschall-Aktoren,

Figur 2 ein Ausgangsspannungssignal (PWM-Ausgangsspannung) eines PWM-Wandlers der Speiseanordnung und

Figur 3 ein Bodediagramm für eine vorbekannte Speiseanordnung enthaltend lediglich einen PWM-Wandler (gestrichelte Linie) und für eine erfindungsgemäße Speiseanordnung enthaltend einen PWM-Wandler mit LLCC-Filter.

Eine erfindungsgemäße Speiseanordnung für eine Ultraschallvorrichtung 1 ist in Figur 1 dargestellt. Der Ultraschallmotor kann als Direktantrieb für Flugzeuge, Automobile, Robotikanwendungen und medizinische Messsystemegeräte verwandt werden, wobei er den mittel-hoch gedämpften piezoelektrischen Vibrationssystemen zuzuordnen ist. Die Ultraschallvorrichtung 1 kann auch als Ultraschallwandler oder als eine Ultraschallerzeugungseinrichtung mit einer Sonotrode ausgebildet sein zum ultraschallunterstützten Schneiden, Meißeln, Fräsen, Schweißen und dergleichen, wobei sie den schwach-gedämpften piezoelektrischen Vibrationssystemen zuzuordnen sind.

- 6 -

Die Ultraschallvorrichtung 1, in der Fachliteratur meist Ultraschall-Aktor genannt, weist als kapazitiver Verbraucher eine piezoelektrische Kapazität C_P auf, der eine Speiseanordnung 3 vorgelagert ist.

Die Speiseanordnung 3 ist an eine Gleichspannungsquelle 4 mit der Ausgangsspannung U_i angeschlossen. Die Speiseanordnung 3 umfasst zum einen den Pulsweitenmodulierten-Wandler (PWM-Wandler 5), der an die Gleichspannungsquelle 4 angeschlossen ist und als PWM-Ausgangsspannung U_{PWM} ein pulswertenmoduliertes Signal für einen nachgeordneten Reihenschwingkreis 6 zur Verfügung stellt. Der PWM-Wandler 5 kann wie in Fig. 1 skizziert aus einem 3-Punkt Wechselrichter bestehen, oder auch aus einem 2-Punkt Wechselrichter (H-Vollbrücke), der mit optimierten Pulsmustern angesteuert wird.

Der Reihenschwingkreis 6 besteht aus einer Reiheninduktivität L_s und einer Reihenkapazität C_s , die zusammen mit einem Parallelschwingkreis 7 ein LLCC-Filter 8 (Gesamt-schwingkreis) bilden. Der Parallelschwingkreis 7 wird durch die Kapazität C_P der Ultraschallvorrichtung 1 sowie einer zu derselben parallel geschalteten Parallelinduktivität L_P gebildet.

Zusätzlich weist das LLCC-Filter 8 zwischen dem Reihenschwingkreis 6 und dem Parallelschwingkreis 7 einen Transformator 9 auf.

30

Der PWM-Wandler 5 weist vier in Reihe geschaltete Transistoren S_1 , S_2 , S_3 , S_4 auf, zu denen jeweils eine Diode parallel geschaltet ist. Die Transistoren S_1 , S_2 , S_3 , S_4

- 7 -

sind als selbstsperrende N-Kanal-MOS-FET-Transistoren ausgebildet. Ein nachgeordneter paralleler Zweig wird durch zwei in Reihe geschaltete Transistoren S5, S6 gebildet, die als insulated gate bipolar-Transistoren (IGBT's) ausgebildet sind. Denselben sind jeweils eine Diode parallel geschaltet. Ein Source-Anschluss des zweiten Transistors S2 bildet die positive Eingangsklemme für das LLCC-Filter 8. Ein Emitteranschluss des Transistors S5 bildet die negative Eingangsklemme für das LLCC-Filter 8.

10

Bezogen auf ein mittleres Bezugspotential N ermöglicht die Ansteuerung der Transistoren S1, S2, S6 die Erzeugung einer positiven Halbschwingung H1 und die Ansteuerung der Transistoren S3, S4, S5 die Erzeugung einer negativen Halbschwingung H2, wie aus Figur 2 zu ersehen ist. In Abhängigkeit von der Ansteuerung von S1 oder S2 bzw. S3 oder S4 ergeben sich die unterschiedlichen beiden Stufen der beiden Halbschwingungen H1, H2. Die Verbindung zwischen den Transistoren S1 und S2 sowie S3 und S4 sind jeweils über eine Diode D mit einem Mittenanschluss M der Eingangsspannungsquelle U_i verbunden.

20

Das am Ausgang des PWM-Wandlers 5 anliegende Spannungssignal U_{PWM} ist ein hochfrequentes Spannungssignal, dessen Grundfrequenz mit der Resonanzfrequenz der Ultraschallvorrichtung 1 übereinstimmt.

25

In Verbindung mit dem LLCC-Filter 8 ergibt sich eine in Figur 3 dargestellte Übertragungsfunktion (durchgezogene Linie), wobei durch den 3-Punkt Wechselrichter (PWM-Wandler 5) ein relativ breiter Arbeitsbereich zwischen 20 kHz und 60 kHz gewährleistet ist, trotz relativ niedriger Schaltfrequenz gegenüber einer 2-Punkt Schaltungsvariante

30

(H-Vollbrücke). Eine Ansteuerung der Ultraschallvorrichtung 1 durch eine 1-pulsige H-Vollbrücke (siehe eingangs genannten Artikel Kauczor/Fröhleke) bewirkt eine Übertragungsfunktion, die gestrichelt in Figur 3 dargestellt ist und lediglich einen Arbeitsbereich in einem Frequenzband zwischen 30 kHz und 40 kHz ermöglicht. Vorteilhaft ermöglicht die erfindungsgemäße Speiseanordnung eine Robustheit gegenüber Parameteränderungen, insbesondere der Kapazität C_P der Ultraschallvorrichtung 1.

10

Der PWM-Wandler 5 ist derart anzusteuern, dass die Schaltfrequenz des PWM-Wandlers 5 bzw. die Frequenz der Ausgangsspannung U_{PWM} des PWM-Wandlers 5 der Arbeitsfrequenz der Ultraschallvorrichtung 1 entspricht. Zur Blindleistungskompensation der Ultraschallvorrichtung 1 ist die Parallelinduktivität L_P des Parallelschwingkreises 7 auf die Parallelkapazität C_P und die Arbeitsfrequenz f_M der Ultraschallvorrichtung 1 abgestimmt. Die Parallelinduktivität berechnet sich nach folgender Formel:

20

$$L_P = \frac{1}{C_P * (2 \pi f_M)^2}$$

25 Die zweite Resonanzfrequenz f_{02} des Gesamtschwingkreises 8 kann ein ganzzahliges Vielfaches der Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises 7 betragen, beispielsweise kann sie dreimal so groß sein wie die Frequenz f_M . Die Reiheninduktivität L_S und die Reihenkapazität C_S berechnet sich dann
30 wie folgt:

- 9 -

$$L_s = \frac{L_P}{L_P C_P (2 \pi f_{02})^2 - 1}$$

5

$$C_s = C_P \frac{L_P}{L_s} .$$

Die Erfindung betrifft somit insbesondere einen leistungs-
10 starken 3-Punkt Wechselrichter, der durch einen Pulswei-
tenmodulator gemäß Pulsmuster (s. Fig. 2) angesteuert
wird. Die erzeugte Wechselrichterspannung dient als Ein-
gangssignal für den LLCC-Bandpassfilter, der zur Potenti-
altrennung noch den Transformator und bei entfernt ange-
15 ordneten Ultraschall-Aktoren noch ein Kabel enthält und
eine Oberschwingungsarme, breitbandige Spannung des Ak-
tors herstellt. Das Filter nutzt die Kapazität des Ultra-
schallaktors, die Kabelkapazität und die Streuinduktivität
des Transformators.

20

Patentansprüche:

1. Speiseanordnung für eine Ultraschallvorrichtung enthal-
tend einen Pulsweitenmodulationswandler, mittels dessen
5 eine pulsweitenmodulierte Spannung (U_{PWM}) erzeugt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass die Speiseanordnung (3)
ein LLCC-Filter (8) mit einer zur Ultraschallvorrich-
tung (1) parallel angeordneten Parallelinduktivität
(L_P) und einen Reihenschwingkreis (6) enthaltend min-
10 desten eine Reiheninduktivität (L_S) und mindestens eine
Reihenkapazität (C_S) aufweist.
2. Speiseanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-
net, dass die Parallelinduktivität (L_P) mit einer die
15 Ultraschallvorrichtung (1) elektrisch repräsentierenden
piezoelektrischen Kapazität (C_P) einen lokalen Paral-
lelschwingkreis (7) bildet.
3. Speiseanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
20 zeichnet, dass die Parallelinduktivität (L_P) auf die
Arbeitsfrequenz der Ultraschallvorrichtung (1) abge-
stimmt ist.
4. Speiseanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, da-
25 durch gekennzeichnet, dass die zweite Resonanzfrequenz
(f_{02}) des Gesamtschwingkreises (8) ein ganzzahliges
Vielfaches der Resonanzfrequenz des Parallelschwing-
kreises (7) bzw. der Arbeitsfrequenz der Ultraschall-
vorrichtung (1) entspricht.
- 30 5. Speiseanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, da-
durch gekennzeichnet, dass zwischen dem Reihenschwing-

- 11 -

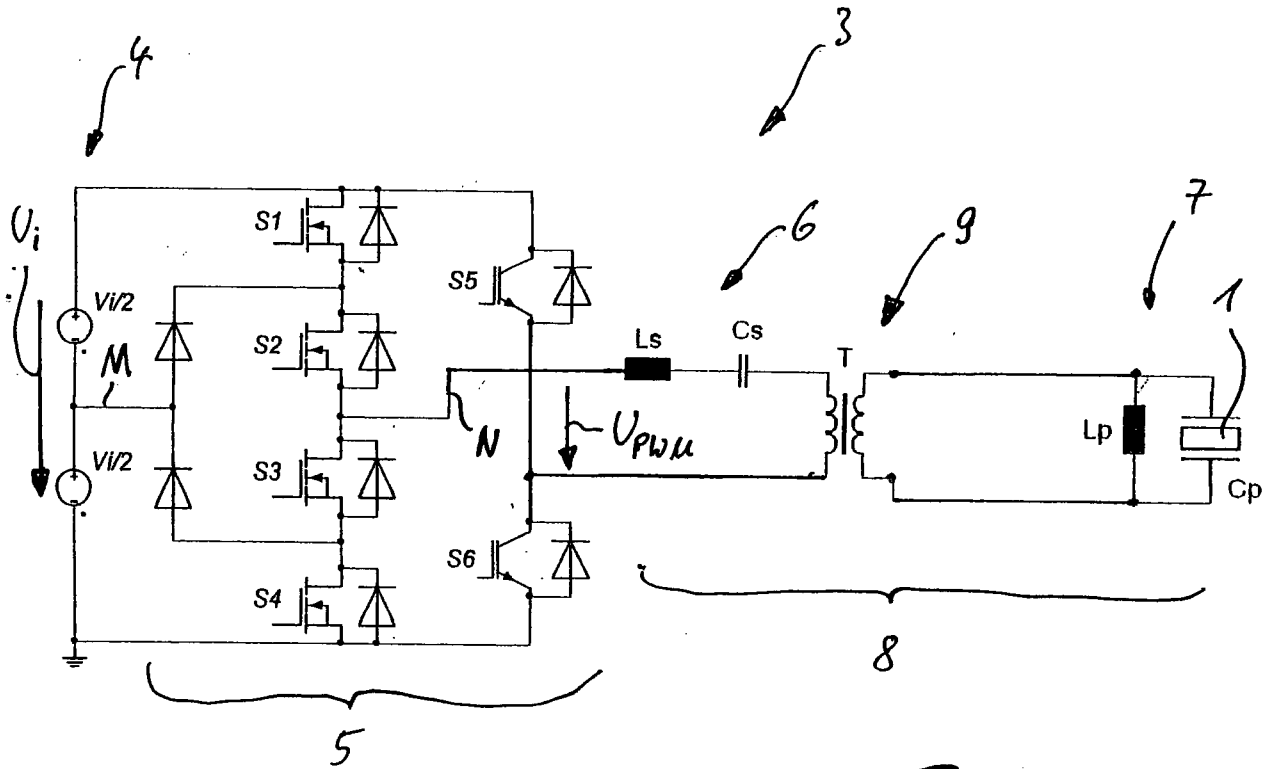
kreis (6) und dem Parallelschwingkreis (7) ein Transformator (9) angeordnet ist.

5 6. Speiseanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der PWM-Wandler (5) vier Transistoren (S1, S2, S3, S4, MOSFET's) aufweist, derart, dass fünf unterschiedliche Spannungsniveaus erzeugt werden zur Bildung der hochfrequenten PWM-Ausgangsspannung (U_{PWM}).

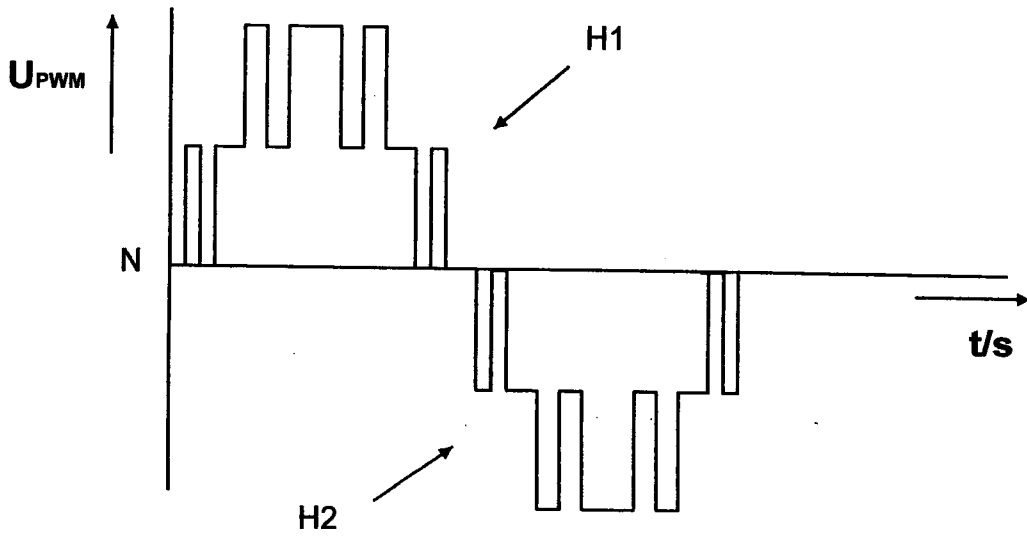
10

7. Speiseanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Ultraschallvorrichtung (1) als ein Ultraschallmotor oder als ein Ultraschallwandler ausgebildet ist.

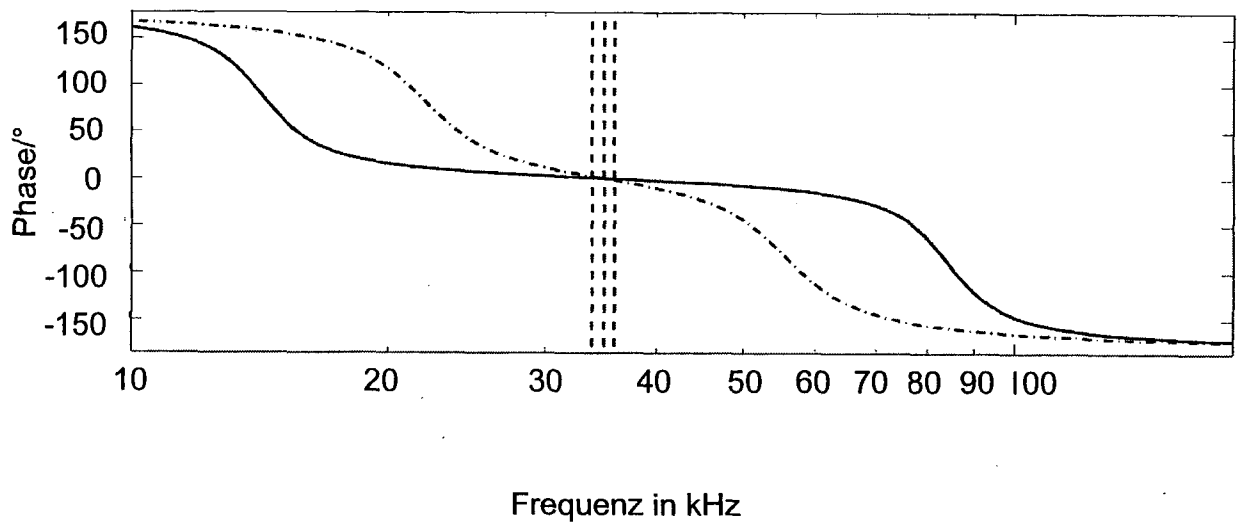
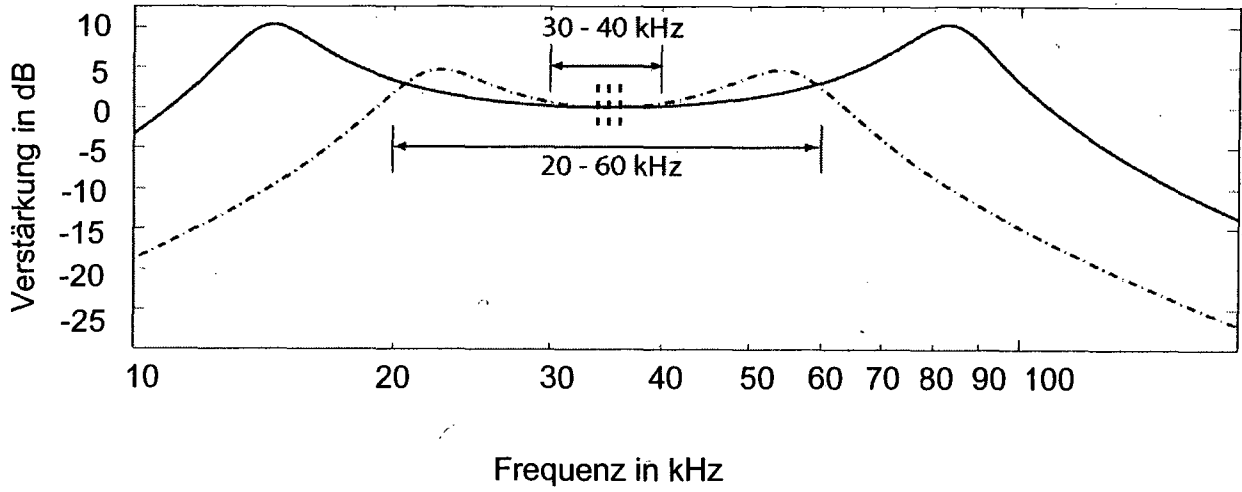
15



Figur 1



Figur 2



Figur 3