



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.06.2015 Patentblatt 2015/24

(51) Int Cl.:
B06B 1/02 (2006.01) H04R 3/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13196307.6**

(22) Anmeldetag: **09.12.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(71) Anmelder: **ELMOS Semiconductor AG**
44227 Dortmund (DE)

(72) Erfinder: **Spiegel, Egbert**
44227 Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Von Kreisler Selting Werner - Partnerschaft von Patentanwälten und Rechtsanwälten mbB**
Deichmannhaus am Dom
Bahnhofsvorplatz 1
50667 Köln (DE)

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

(54) **Verfahren zur Bestimmung von elektrischen Parametern einer Abstimmereinheit für einen Ultraschallwandler**

(57) Die Abstimmereinheit (20) für einen Ultraschallwandler (12) mit Spannungstransformator, der durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (14) mit einer eine Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung (16) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist, ist versehen mit einer Parallelresonanzschaltung (26) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand, wobei die Parallelresonanzschaltung (26) eine Parallelresonanzfrequenz aufweist. Die Induktivität der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität ist derart gewählt, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist. Die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) ist bestimmt, dass die zweite mathematische Ableitung des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Serien- bzw. Parallelresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um etwa 2 % bis 10 % der Resonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

nanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist. Die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) ist bestimmt, dass die zweite mathematische Ableitung des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Serien- bzw. Parallelresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um etwa 2 % bis 10 % der Resonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

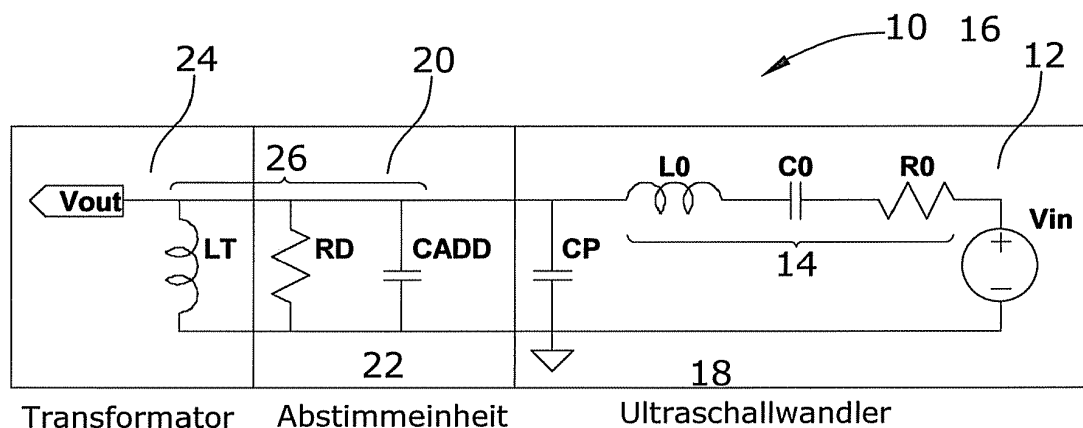


Fig.1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von elektrischen Parametern einer Abstimmereinheit für einen Ultraschallwandler. Dieser Ultraschallwandler weist einen Spannungstransformator auf und ist durch ein elektrisches Ersatzschaltbild mit einer Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar, wobei die Abstimmereinheit eine Parallelschaltung mit einer Kapazität und einem Widerstand aufweist, die zusammen mit einer parallel geschalteten Induktivität des Spannungstransformators eine Parallelresonanzfrequenz aufweisende Parallelresonanzschaltung bildet.

[0002] Ultraschallvorrichtungen finden beispielsweise Verwendung als Einparkhilfen oder Abstandsmessung für andere Zwecke oder aber auch zur Raumüberwachung. Ultraschallvorrichtungen weisen im Regelfall einen Ultraschallwandler auf, der ein elektrisches Signal in ein akustisches oder umgekehrt wandelt. Ein Ultraschallwandler kann demzufolge sowohl als Sender als auch Empfänger genutzt werden. Darüber hinaus existieren sogenannte Ultraschall-Transducer, die intermittierend als Sender und Empfänger geschaltet werden. Ein Ultraschallwandler weist im Regelfall einen Schwingkreis in Form einer Serienresonanzschaltung auf, die im Ersatzschaltbild des Ultraschallwandlers eine Induktivität, eine Kapazität und einen Widerstand umfasst und eine bauteilbedingte Serienresonanzfrequenz definiert.

[0003] Zusätzlich weisen die Gesamtsysteme von Ultraschallwandlern mitunter auch Abstimmereinheiten auf, die eine Abstimmkapazität und einen Abstimmwiderstand als Parallelschaltung umfassen. Die Abstimmereinheit ist zwischen einem Spannungswandler und dem Ultraschallwandler selbst geschaltet. Damit liegt parallel zur Abstimmereinheit die durch den Spannungstransformator definierte Induktivität, so dass die Abstimmereinheit zusammen mit dieser Induktivität eine Parallelresonanzschaltung bildet.

[0004] Um Ultraschallsignale mit möglichst großer Energie aussenden zu können, legt man im Sendemodus eines Ultraschallwandlers Wert auf eine Leistungsanpassung, d.h. Wert auf die Abstimmung der Resonanzfrequenzen beider Resonanzkreise, die möglichst gleich sein sollten. Der parallele Schwingkreis ist mit Hilfe eines Widerstandes geeignet zu bedämpfen, um den Ausschwingvorgang günstig zu beeinflussen, d.h., um möglichst kurzzeitig nach der Beendigung des Sendebetriebs für den Empfang von Ultraschallsignalen vorbereitet zu sein. Wenn nämlich der Ultraschallwandler noch ausschwingt, während er bereits ankommenden Ultraschallsignalen ausgesetzt ist, können diese ankommenden Ultraschallsignale nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit detektiert werden.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die elektrischen Parameter einer Abstimmereinheit für einen Ultraschallwandler im Hinblick auf die obigen Kriterien bestimm-

men zu können.

[0006] Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung von elektrischen Parametern einer Abstimmereinheit für einen Spannungstransformator aufweisenden Ultraschallwandler vorgeschlagen, wobei der Ultraschallwandler durch ein elektrisches Ersatzschaltbild mit einer Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist und die Abstimmereinheit eine Parallelschaltung mit einer Kapazität und einem (Dämpfungs-)Widerstand aufweist, die zusammen mit einer parallel geschalteten Induktivität des Spannungstransformators eine Parallelresonanzfrequenz aufweisende Parallelresonanzschaltung bildet, wobei bei dem erfindungsgemäßen Verfahren

- die Größe des (Dämpfungs-)Widerstandes der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit bestimmt wird, indem der Frequenzgang des resultierenden Gesamtsystems aus Abstimmereinheit und Ultraschallwandler bei verschiedenen großen Werten für den (Dämpfungs-)Widerstand der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit ermittelt wird, und zwar entweder messtechnisch oder durch Berechnung oder durch Simulation, wobei als (Dämpfungs-)Widerstand für die Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit derjenige Wert gewählt wird, bei dem die zweite mathematische Ableitung des Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Gesamtresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um einen zweiten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

[0007] Der erfindungsgemäße Ansatz geht dahin, das Ausschwingverhalten des Gesamtsystems aus Abstimmereinheit und Ultraschallwandler (einschließlich Spannungstransformator) zu minimieren, so dass die Ausschwingzeit verringert ist. Zu diesem Zweck wird in die Abstimmereinheit ein (Dämpfungs-)Widerstand integriert, der parallel zu einer Abstimmkapazität der Abstimmereinheit geschaltet ist, die beispielsweise die in der Praxis mitunter recht großen Temperaturkoeffizienten des Piezokristalls des Ultraschallwandlers zumindest teilweise kompensiert.

[0008] Es hat sich nun gezeigt, dass es hinsichtlich eines guten und insbesondere kurzen Ausschwingverhaltens (Betrachtung im Zeitbereich) von Vorteil ist, wenn sich im Frequenzbereich ein ausgewogener, flacher Frequenzgang ohne Überhöhung gegeben ist. Dabei sollte

der Frequenzgang einerseits ausreichend schmalbandig sein, um Störungen des Empfangssignals in einem ausreichenden Maße vermeiden zu können, aber andererseits auch nicht zu schmalbandig sein, da dies die Frequenztoleranz negativ beeinträchtigt, was insbesondere beim Einsatz des Ultraschallwandlers zur Abstandsmessung in der Applikation als z.B. Kfz-Einparkhilfe von Nachteil sein kann.

[0009] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung kann unter dem Aspekt der Leistungsanpassung vorgesehen sein, dass die Induktivität der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt wird, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers ist.

[0010] Wie bereits oben erwähnt, ist die Erfindung insbesondere dann zweckmäßig, wenn die Bestimmung des Widerstandes für den Fall erfolgt, dass der Ultraschallwandler alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von Ultraschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betrieben wird.

[0011] Eine weitere Methode, den Optimal- bzw. Zielwert des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung zu ermitteln, besteht darin, den Frequenzgang des Gesamtsystems aus Abstimmereinheit und Ultraschallwandler im Falle des Betriebs des Gesamtsystems in einem Empfangsmodus für einen vorgebbaren Anfangswert des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung zu ermitteln und den Wert dieses Widerstandes schrittweise oder kontinuierlich bzw. quasi kontinuierlich solange bis zum Erreichen eines Zielwerts zu verändern, bei dem der Frequenzgang ein Maximum aufweist, bei welchem die zweite Ableitung nach der Frequenz gleich oder im Wesentlichen gleich null ist.

[0012] Hierbei kann zweckmäßigerweise vorgesehen sein, dass als Anfangswert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung der Widerstandswert der Reihenschaltung des Ersatzschaltbildes des Ultraschallwandlers gewählt wird. Sollte sich bei dieser Vorgehensweise aus welchen Gründen auch immer ein Fehler einstellen, etwa weil die beiden Resonanzschaltungen verstimmt sind, sollte man bei einem oberen Grenzwert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung das Verfahren beenden, wobei dieser obere Grenzwert beispielsweise gleich dem 100-Fachen des Widerstandswerts der Reihenschaltung des Ersatzschaltbildes des Ultraschallwandlers ist.

[0013] In weiterer zweckmäßiger Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Veränderung des Werts des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung dahingehend variiert wird, dass der Grad der Veränderung des Werts dieses Widerstandes proportional zum Grad der vorherigen Veränderung des Frequenzgangs im Bereich des Maximums gewählt wird. Schließlich kann auch vorgesehen sein, dass der Ziel-

wert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung durch sukzessive Approximation ermittelt wird.

[0014] Die oben genannte Aufgabe wird u.a. auch durch eine Abstimmereinheit für einen Ultraschallwandler mit Spannungstransformator gelöst, der durch ein elektrisches Ersatzschaltbild mit einer Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist, wobei diese Abstimmereinheit versehen ist mit

- einer Parallelresonanzschaltung aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand, wobei die Parallelresonanzschaltung eine Parallelresonanzfrequenz aufweist,
- wobei zweckmäßigerweise gilt, dass die Induktivität der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt ist, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers ist, und
- wobei die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit bestimmt ist, dass die zweite mathematische Ableitung des resultierenden Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Serien- bzw. Parallelresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um etwa 2 % bis 10 % der Resonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

[0015] Bei dieser Abstimmereinheit kann ferner mit Vorteil vorgesehen sein, dass die Induktivität der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt ist, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers ist.

[0016] Schließlich kann auch diese Abstimmereinheit bei einem Ultraschallwandler eingesetzt werden, der alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von Ultraschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betreibbar ist.

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels sowie unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Im Einzelnen zeigen dabei:

Fig. 1 bis 3 verschiedene Darstellungen der elektrischen Beschaltung einer Ultraschallvor-

richtung bei deren Betrieb im Empfangs- und im Sendemodus sowie zur Darstellung der Impedanzfunktionsermittlung, und

Fig. 4 die Übertragungsfunktion einer für den Empfangsmodus optimierten Ultraschallvorrichtung in Abhängigkeit von RD.

[0018] Ultraschallwandler 12 bzw. -Transducer werden in der Regel mittels eines Spannungstransformators angesteuert. Die Induktivität wird dabei so ausgelegt, dass die Resonanzfrequenz zusammen mit der parallel geschalteten (parasitären) Kapazität des Piezokristalls gleich der Resonanzfrequenz des Transducers ist. Mit Hilfe eines zusätzlichen, parallel geschalteten (Dämpfungs)Widerstandes RD kann das Ausschwingverhalten der gesamten Anordnung minimiert werden, indem der parallele Schwingkreis mit Hilfe dieses Widerstandes bei geeigneter Wahl "bedämpft" wird. Eine analytische Lösung für dieses Problem ist mit vertretbarem Aufwand (wenn überhaupt) kaum möglich.

[0019] Daher wird nachfolgend ein Verfahren vorgestellt, mit dem sich der Widerstand RD schnell und effizient bestimmen lässt.

[0020] Fig. 1 zeigt das Ersatzschaltbild einer Ultraschallvorrichtung 10 im Empfangsmodus. Diese Ultraschallvorrichtung 10 weist einen Ultraschallwandler 12 auf, der in Fig. 1 als Ersatzschaltbild 14 mit einer Reihenschaltung 16 aus einer Induktivität L0, einer Kapazität C0 und einem Widerstand R0 und mit einer Energiequelle Vin sowie einer weiteren Kapazität CP (hervorgerufen durch den Oszillator, z.B. Piezokristall 18) dargestellt ist. Die Energiequelle Vin erzeugt in Folge der im Empfangsmodus auf den Ultraschallwandler 12 einwirkenden Ultraschallwellen eine elektrische Spannung. An den Ultraschallwandler 12 schließt sich eine Abstimmereinheit 20 mit einer Parallelschaltung 22 aus einer Kapazität CADD und dem bereits oben angesprochenen Widerstand RD an, woraufhin ein Transformator 24 folgt, von dem in Fig. 1 die Induktivität LT im Ersatzschaltbild gezeigt ist. Parallel zur Parallelschaltung 22 liegt die Induktivität LT, die zusammen mit der Parallelschaltung 22 eine Parallelresonanzschaltung 26 bildet.

[0021] Die durch die Ultraschallvorrichtung 10 gegebene Impedanz setzt sich aus der Verschaltung der zuvor genannten Elemente zusammen, wie es in Fig. 3 wiedergegeben ist.

[0022] Aus den Fig. 1 und 2 lassen sich dann die Übertragungsfunktionen der Ultraschallvorrichtung 10 für den Sende- und den Empfangsfall ableiten, wobei es nun möglich ist, die für diese Einsätze optimalen Bauteile zu bestimmen. Exemplarisch soll dies nachfolgend am Widerstand RD dargestellt werden, wobei Fig. 4 die Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von RD zeigt. Die Ultraschallvorrichtung 10 arbeitet im Empfangsmodus wie ein (Bandpass-)Filter, das erfindungsgemäß durch

eine Abgleicheinheit (wird weiter unten erläutert) abstimbar ist. Dabei sollte das Filter eine möglichst große Bandbreite aufweisen, da dies die Antwortzeit des Filters im Zeitbereich bestimmt und damit eine gute Entfernungsauflösung erlaubt. Auf der anderen Seite ist die Bandbreite des Filters so zu wählen, dass es nicht zu breit ist, weil sonst Rauschen und andere akustische Störquellen in den Übertragungsbereich des Filters fallen und als Echo erfasst werden. Wenn dieser Widerstand RD nicht vorhanden ist, ist die Impedanzanpassungsfunktion der Schaltung nach wie vor gegeben, aber eine Optimierung der erforderlichen Bandbreite des Filters lässt sich ohne einen parallel zu dem Transformator geschalteten Widerstand RD nicht erreichen.

[0023] Anhand von Fig. 4 soll nachfolgend weiter auf die Erfindung eingegangen werden.

[0024] Es hat sich gezeigt, dass für den Fall $RD=RD_{OPT}$ in der Praxis die Ausschwingzeit nahezu minimal ist. Im Folgenden wird kurz ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorgehensweise skizziert.

[0025] Die lokalen Maxima für den Fall $RD<RD_{OPT}$ bzw. die lokalen Minima für den Fall $RD>RD_{OPT}$ liegen genau bei der Resonanzfrequenz des Gesamtsystems. Der Kurvenverlauf ist in diesem Punkt für den Fall $RD<RD_{OPT}$ rechtsgekrümmt, für $RD>RD_{OPT}$ linksgekrümmt. Mathematisch bedeutet das, dass die zweite Ableitung kleiner null für $RD<RD_{OPT}$ und größer null für $RD>RD_{OPT}$ ist. Bei $RD=RD_{OPT}$ ist die zweite Ableitung gleich null. Grundsätzlich ist es möglich, die zweite Ableitung des Betrags der Übertragungsfunktion analytisch zu bestimmen. Dies ist aber sehr umfangreich. Hier wird die numerische Bestimmung der zweiten Ableitung mit Hilfe einer numerischen Näherung z.B.

$$y'' = \frac{y_{-1} - 2 \cdot y_0 + y_{+1}}{h^2}$$

verwendet. Dabei ist y_0 der Wert der Übertragungsfunktion bei Resonanzfrequenz. y_{-1} und y_{+1} sind zwei Punkte jeweils links und rechts davon.

[0026] Ausgehend von einem Startwert wird der Wert von RD in kleinen Schritten erhöht bis ein Vorzeichenwechsel der zweiten Ableitung auftritt. Es hat sich als zuverlässig erwiesen, als Startwert für RD den Wert RO des Transducers zu verwenden. Für den Fall einer fehlerhaften Eingabe und stark gegeneinander verstimmter Schwingkreise, ist eine obere Schranke für RD von z.B. $100 \cdot RO$ sinnvoll.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0027]

10	Ultraschallvorrichtung
12	Ultraschallwandler
14	elektrisches Ersatzschaltbild

16	Reihenschaltung
18	Piezokristall
20	Abstimmeinheit
22	Parallelschaltung
24	Spannungstransformator
26	Parallelresonanzschaltung
CADD	(Abgleich-)Kapazität
LT	Induktivität des Spannungstransformators
RD	(Dämpfungs-)Widerstand
C0	parasitäre Kapazität des Ultraschallwandlers
L0	parasitäre Induktivität des Ultraschallwandlers
R0	(Innen-)Widerstand des Ultraschallwandlers

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von elektrischen Parametern einer Abstimmeinheit für einen einen Spannungstransformator aufweisenden Ultraschallwandler (12), wobei der Ultraschallwandler (12) durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (14) mit einer eine Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung (16) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist und die Abstimmeinheit (20) eine Parallelschaltung (22) mit einer Kapazität und einem Widerstand aufweist, die zusammen mit einer parallel geschalteten Induktivität des Spannungstransformators einer eine Parallelresonanzfrequenz aufweisende Parallelresonanzschaltung (26) bildet, wobei bei dem Verfahren
 - die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmeinheit (20) bestimmt wird, indem der Frequenzgang des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Gesamtsystems aus Abstimmeinheit (20) und Ultraschallwandler (12) bei verschiedenen großen Werten für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmeinheit (20) ermittelt wird, und zwar entweder messtechnisch oder durch Berechnung oder durch Simulation, wobei als Widerstand für die Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmeinheit (20) derjenige Wert gewählt wird, bei dem die zweite mathematische Ableitung des Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Gesamtresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um einen zweiten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktivität der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmeinheit (20) bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt wird, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmeinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung des Widerstandes für den Fall erfolgt, dass der Ultraschallwandler (12) alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von UI-traschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betrieben wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Frequenzgang des Gesamtsystems aus Abstimmeinheit (20) und Ultraschallwandler (12) im Falle des Betriebs des Gesamtsystems in einem Empfangsmodus für einen vorgebbaren Anfangswert des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) ermittelt wird und der Wert dieses Widerstandes schrittweise oder kontinuierlich bzw. quasi kontinuierlich solange bis zum Erreichen eines Zielwerts verändert wird, bei dem der Frequenzgang ein Maximum aufweist, bei welchem die zweite Ableitung nach der Frequenz gleich oder im Wesentlichen gleich null ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Anfangswert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) der Widerstandswert der Serienschaltung des Ersatzschaltbildes (14) des Ultraschallwandlers (12) gewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Veränderung des Werts des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) dahingehend variiert wird, dass der Grad der Veränderung des Werts dieses Widerstandes proportional zum Grad der vorherigen Veränderung des Frequenzgangs im Bereich des Maximums gewählt wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zielwert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) durch sukzessive Approximation ermittelt wird.
8. Abstimmeinheit (20) für einen Ultraschallwandler (12) mit Spannungstransformator, der durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (14) mit einer eine Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung (16) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist, mit

- einer Parallelresonanzschaltung (26) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand, wobei die Parallelresonanzschaltung (26) eine Parallelresonanzfrequenz aufweist,
 - wobei die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bestimmt ist, dass die zweite mathematische Ableitung des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Serien- bzw. Parallelresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um etwa 2 % bis 10 % der Resonanzfrequenz oberhalb dieser liegt.

9. Abstimmereinheit nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktivität der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt ist, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist.

10. Abstimmereinheit nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ultraschallwandler (12) alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von Ultraschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betreibbar ist.

Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2) EPÜ.

1. Verfahren zur Bestimmung von elektrischen Parametern einer Abstimmereinheit für einen einen Spannungstransformator aufweisenden Ultraschallwandler (12), wobei der Ultraschallwandler (12) durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (14) mit einer eine Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung (16) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist und die Abstimmereinheit (20) eine Parallelschaltung (22) mit einer Kapazität und einem Widerstand aufweist, die zusammen mit einer parallel geschalteten Induktivität des Spannungstransformators einer eine Parallelresonanzfrequenz aufweisende Parallelresonanzschaltung (26) bildet, wobei bei dem Verfahren

- die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) be-

stimmt wird, indem der Frequenzgang des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Gesamtsystems aus Abstimmereinheit (20) und Ultraschallwandler (12) bei verschiedenen großen Werten für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) ermittelt wird, und zwar entweder messtechnisch oder durch Berechnung oder durch Simulation,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** als Widerstand für die Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) derjenige Wert gewählt wird, bei dem die zweite mathematische Ableitung des Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Gesamtresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb der Gesamtresonanzfrequenz liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um einen zweiten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz oberhalb der Gesamtresonanzfrequenz liegt, und dass der Frequenzgang des Gesamtsystems aus Abstimmereinheit (20) und Ultraschallwandler (12) im Falle des Betriebs des Gesamtsystems in einem Empfangsmodus für einen vorgebbaren Anfangswert des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) ermittelt wird und der Wert dieses Widerstandes schrittweise oder kontinuierlich bzw. quasi kontinuierlich solange bis zum Erreichen eines Zielwerts verändert wird, bei dem der Frequenzgang ein Maximum aufweist, bei welchem die zweite Ableitung nach der Frequenz gleich oder im Wesentlichen gleich null ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktivität der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt wird, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung des Widerstandes für den Fall erfolgt, dass der Ultraschallwandler (12) alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von Ultraschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betrieben wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Anfangswert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) der Widerstandswert der Serienschaltung des Ersatzschaltbildes (14) des Ultraschallwandlers (12) gewählt wird. 5
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Veränderung des Werts des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) dahingehend variiert wird, dass der Grad der Veränderung des Werts dieses Widerstandes proportional zum Grad der vorherigen Veränderung des Frequenzgangs im Bereich des Maximums gewählt wird. 10
15
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zielwert für den Widerstand der Parallelresonanzschaltung (26) durch sukzessive Approximation ermittelt wird. 20
7. Abstimmereinheit (20) für einen Ultraschallwandler (12) mit Spannungstransformator, abgestimmt nach einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ultraschallwandler (12) durch ein elektrisches Ersatzschaltbild (14) mit einer Serienresonanzfrequenz aufweisenden Reihenschaltung (16) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand repräsentierbar ist, mit 25
30
- einer Parallelresonanzschaltung (26) aus einer Induktivität, einer Kapazität und aus einem Widerstand, wobei die Parallelresonanzschaltung (26) eine Parallelresonanzfrequenz aufweist,
 - wobei die Größe des Widerstandes der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bestimmt ist, dass die zweite mathematische Ableitung des eine resultierende Gesamtresonanzfrequenz aufweisenden Frequenzgangs in einem Frequenzbereich, innerhalb dessen die Serien- bzw. Parallelresonanzfrequenz liegt, im Wesentlichen gleich null ist, wobei der Frequenzbereich eine untere Grenzfrequenz, die um einen ersten Wert von etwa 2 % bis 10 %, insbesondere 2 % bis 8 % bzw. bis 6 % bzw. bis 4 % der Gesamtresonanzfrequenz unterhalb dieser liegt, und eine obere Grenzfrequenz aufweist, die um etwa 2 % bis 10 % der Resonanzfrequenz oberhalb dieser liegt. 35
40
45
50
8. Abstimmereinheit nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktivität der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit (20) bei vorgegebenem Wert für deren Kapazität derart gewählt ist, dass die Parallelresonanzfrequenz der Parallelresonanzschaltung (26) der Abstimmereinheit gleich der Serienresonanzfrequenz der Reihenschaltung des Ultraschallwandlers (12) ist. 55
9. Abstimmereinheit nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ultraschallwandler (12) alternierend in einem Sendemodus zum Aussenden von Ultraschallsignalen in Form von Ultraschallpulsen und insbesondere Ultraschallpulspaketen und in einem Empfangsmodus zum Empfangen von Ultraschallsignalen betreibbar ist.

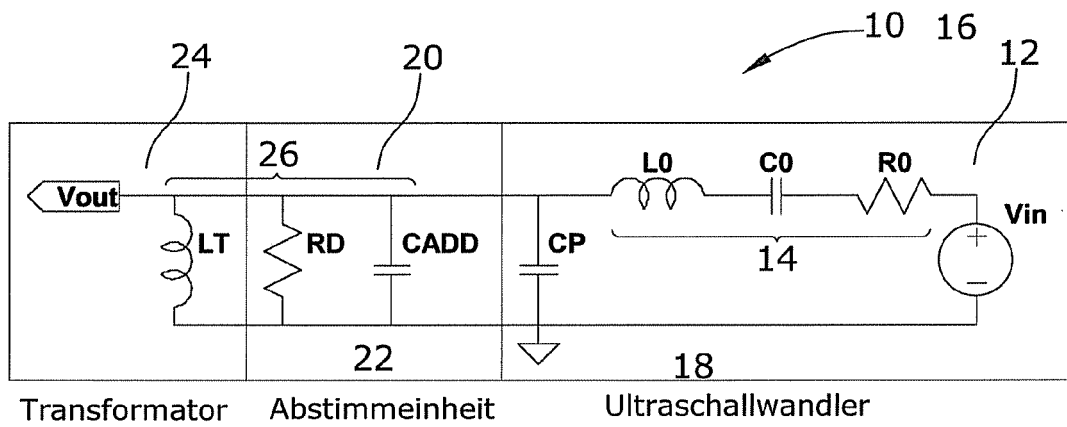


Fig.1

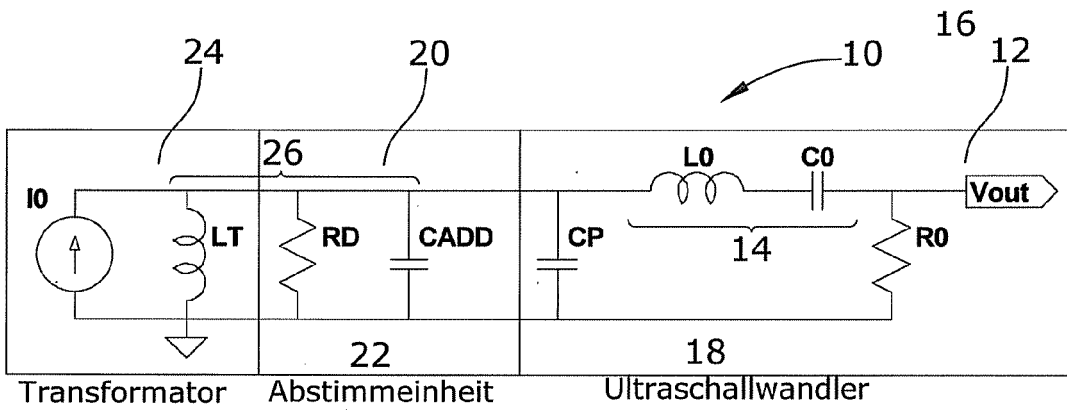


Fig.2

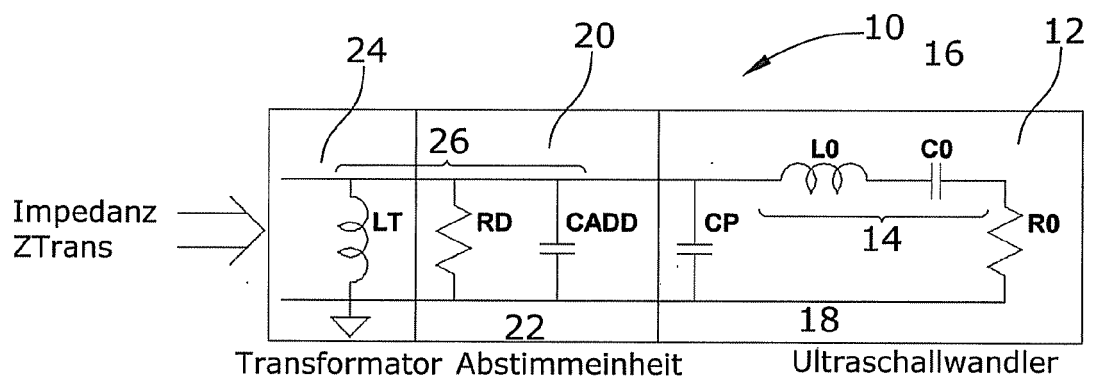


Fig.3

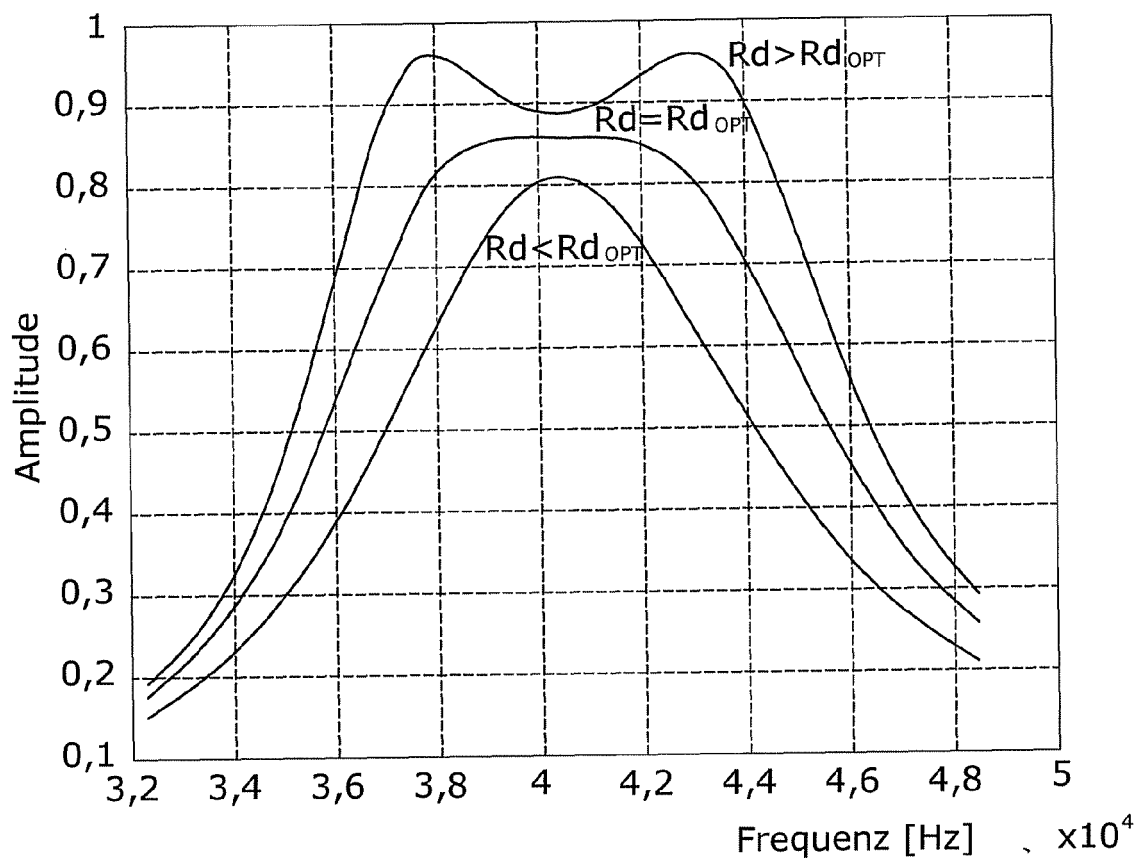


Fig.4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 19 6307

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	US 2011/261652 A1 (HORSKY PAVEL [CZ] ET AL) 27. Oktober 2011 (2011-10-27) * Absatz [0034] - Absatz [0036] * * Abbildung 6 *	1-10	INV. B06B1/02 H04R3/04
Y	US 2007/121970 A1 (MIYAZAKI SHINICHI [JP]) 31. Mai 2007 (2007-05-31) * Absatz [0145] - Absatz [0147] * * Abbildung 5a *	1-10	
A	JP 2001 086587 A (TOKIMEC INC) 30. März 2001 (2001-03-30) * Zusammenfassung * * Abbildungen 2,4 *	1,8	
A	US 2007/121969 A1 (MAYAZAKI SHINICHI [JP]) 31. Mai 2007 (2007-05-31) * Abbildung 7 *	1,8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B06B G01S G10K G01N H04R A61B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		16. Mai 2014	Breccia, Luca
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 19 6307

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-05-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011261652 A1	27-10-2011	EP 2381271 A1	26-10-2011
		US 2011261652 A1	27-10-2011
US 2007121970 A1	31-05-2007	CN 1972530 A	30-05-2007
		JP 4793174 B2	12-10-2011
		JP 2007174619 A	05-07-2007
		US 2007121970 A1	31-05-2007
JP 2001086587 A	30-03-2001	KEINE	
US 2007121969 A1	31-05-2007	CN 1968546 A	23-05-2007
		JP 4983171 B2	25-07-2012
		JP 2008054261 A	06-03-2008
		US 2007121969 A1	31-05-2007

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82