



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 649 157 A5

⑤① Int. Cl. 4: G 01 S 7/52
G 01 S 15/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

// A 61 B 8/00

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 9739/79

㉔ Anmeldungsdatum: 31.10.1979

③① Priorität(en): 12.05.1979 DE 2919181

㉔ Patent erteilt: 30.04.1985

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 30.04.1985

㉔ Inhaber:
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
mbH, Neuherberg/Oberschleissheim (DE)

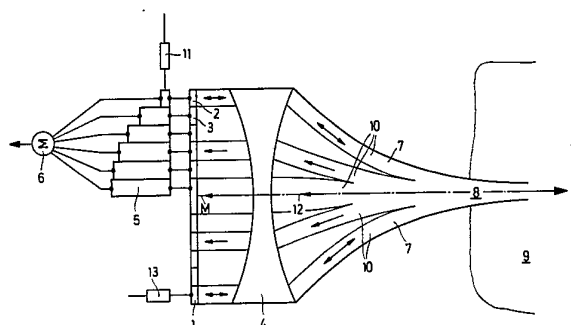
㉔ Erfinder:
Röder, Ulrich, Dipl.-Phys., München 21 (DE)

㉔ Vertreter:
Walter F. Sax, Oberengstringen

⑤④ Ultraschallechoanlage.

⑤⑦ Die Anlage enthält als Sende-Empfängereinrichtung eine Wandleranordnung (1) aus mehreren konzentrisch angeordneten, ringförmigen piezoelektrischen Ultraschallwandlern (2, 3). Zum Senden einer impulsförmigen Ultraschallwelle wird nur der äusserste Ring (2) der Wandleranordnung benutzt, während zum Empfang der Echosignale sämtliche Ringe derselben wirksam sind. Sämtliche Ringe sind über variable Verzögerungsleitungen (5), deren Verzögerungswert von der Mitte zum Rand der Wandleranordnung quadratisch abnimmt, mit der Signalauswertungseinrichtung (6) verbunden.

Diese Anlage weist eine hohe laterale Auflösung und grosse Tiefenschärfe als auch eine erhöhte Detektionsempfindlichkeit auf.



PATENTANSPRÜCHE

1. Ultraschallechoanlage, bei der eine impulsförmig begrenzte Ultraschallwelle, deren Querschnittsfläche ringförmig ist, auf ein Objekt gerichtet und die Echos von einem Empfänger aufgenommen werden, dadurch gekennzeichnet, dass eine Sende-Empfängereinrichtung (1) vorgesehen ist, welche aus konzentrischen Ringen (2, 3) besteht, dass nur einer der Ringe als Sender (2) dient und alle Ringe (3) einschliesslich des Senderinges (2) als Empfänger dienen, dass zwischen der Sende-Empfängereinrichtung (1) und dem Objekt (9) eine fokussierende Linse (4) angeordnet ist, und dass der Sender (2) und die Empfängerringe (2, 3) über variable Verzögerungsleitungen (5), deren Verzögerungswert mit dem Abstand von der Mitte zum Rand der Sende- und Empfängereinrichtung (1) quadratisch abnimmt, mit einer Signalauswertungseinrichtung (6) verbunden sind.

2. Ultraschallechoanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der äusserste Ring (2) der Sende-Empfängereinrichtung (1) als Sendering ausgebildet ist.

Die Erfindung betrifft eine Ultraschallechoanlage, bei der eine impulsförmig begrenzte Ultraschallwelle, deren Querschnittsfläche ringförmig ist, auf ein Objekt gerichtet und die Echos von einem Empfänger aufgenommen werden.

Es ist eine derartige Anlage mit hoher lateraler Auflösung und grosser Tiefenschärfe bekannt (DE-AS 2 306 247), die nur eine Ringapertur zum Senden und zur Detektion der Echosignale verwendet. Um die Seitenbanden zu verringern, werden nacheinander zwei Pulse ausgesandt mit verschiedener Phase über den Azimutwinkel der Ringapertur und anschliessend die elektronischen Ausgangssignale addiert. Die laterale Auflösung dieser Anlage ist zwar sehr hoch bei gleichzeitig grosser Tiefenschärfe, die Empfindlichkeit ist dafür aber äusserst gering, weil zum Empfang der Echos nur ein Ring verwendet wird.

Weiterhin ist ein Verfahren bekannt (J. Shott et al., «The Cascade Charge-Coupled Device for Compound Delay», Stanford University, April 11, 1975), bei dem eine lineare Kette von Einzelsenderdetektoren Impulse aussenden, die ein Objekt beschallen, und bei dem die von den Detektoren aufgenommenen Echos so über quadratische Verzögerungsleitungen auf eine Signalauswertungseinrichtung gegeben werden, dass nur Echos aus einem kleinen, nahezu punktförmigen Bereich aus der Tiefe des Objektes aufgefangen werden. Durch Veränderung der Verzögerungsparameter kann dieser Bereich in der Tiefe verschoben werden. Die Tiefenschärfe jedoch ist ausgesprochen gering.

Die der Erfindung gestellte Aufgabe besteht nunmehr darin, eine Ultraschallechoanlage der eingangs genannten Art derart zu verbessern, dass sie sowohl eine hohe laterale Auflösung und grosse Tiefenschärfe als auch eine erhöhte Detektionsempfindlichkeit aufweist, obwohl alle drei Eigenschaften üblicherweise als sich gegenseitig ausschliessend von der Fachwelt betrachtet werden.

Die Lösung dieser Aufgabe geht aus dem ersten Patentanspruch hervor.

Die Erfindung beinhaltet demnach eine Ultraschallechoanlage, die hohe laterale Auflösung mit grosser Tiefenschärfe kombiniert und bei der die vom Objekt zurückgeworfenen Echos durch einen Detektor grosser Apertur nachgewiesen werden. Die Forderung nach hoher lateraler Auflösung und gleichzeitig grosser Tiefenschärfe wird verwirklicht, indem erfindungsgemäss als Sender für den Ultraschallpuls eine Quelle mit Ringapertur verwendet wird, wobei die Breite des Ringes den nutzbaren Tiefenschärfebereich festlegt. Der Sen-

deimpuls als auch die Echos werden von einer Linse fokussiert bzw. auf den Empfänger gerichtet. Als Detektor für die ankommenden Echosignale wird eine Nachweiseinrichtung mit grosser Apertur benutzt, die sich aus mehreren Ringaperturen und dem Sendering mit verschiedenem Radius aufbaut. Durch die grosse Apertur wird die Nachweisempfindlichkeit gegenüber Anlagen, die zur Detektion die gleiche Ringapertur wie zum Senden benutzen, erheblich gesteigert. Ausserdem wird das Übertragungsverhalten der Anlage dadurch wesentlich verbessert und die durch die Ringapertur erzeugten störenden Seitenmaxima des ausgesandten Ultraschallpuls in der Punktantwort verringert. Da ein Detektor grosser Apertur gewöhnlich nur einen geringen Tiefenschärfenbereich aufweist, wird erfindungsgemäss der Tiefenschärfenbereich durch Verwendung eines dynamisch fokussierbaren Detektors erweitert, d.h. der Fokus des Detektors wird durch variable quadratisch wirkende Verzögerungsleitungen, die an die Empfängerringe angeschlossen sind, geändert.

Mit der erfindungsgemässen Ultraschallechoanlage ist also eine hohe laterale Auflösung durch Verwendung eines Ringsenders, die Unterdrückung der Nebenmaxima durch Verwendung einer Vollapertur im Detektor und die Erweiterung des Tiefenschärfenbereichs durch die Verwendung einer dynamisch fokussierbaren Ringapertur möglich. Insbesondere gelingt die Erhöhung der Empfindlichkeit durch Verwendung einer Vollapertur im Detektor und es wird nur ein Ultraschallpuls (im Gegensatz zu DE-AS 2 306 247) als Sendepuls benötigt und alle ankommenden Echos von der Vollapertur detektiert. Die Punktantwort ist durch die Gleichung

$$A = \text{const } J_0(x) J_1(x) / x$$

d.h. eine Punktantwort mit stark abgeschwächten Nebenmaxima, gegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

In Fig. 1 ist die Ultraschallechoanlage schematisch dargestellt, während

Fig. 2 Kurven empfangener Echosignale zeigt.

Die Anlage enthält als Sende-Empfängereinrichtung eine Wandleranordnung 1 aus mehreren konzentrisch angeordneten, ringförmigen piezoelektrischen Ultraschallwandlern 2 und 3. Zum Aussenden jeweils eines Ultraschallpulses 7 wird nur der äusserste Ring 2 der Wandleranordnung 1 benutzt, der vom Impulsgenerator 13 gespeist wird. Eine Linse 4 aus Polystyrol hinter der Wandleranordnung 1 fokussiert das Ultraschallfeld längs einem Brennnlinienbereich 8, wobei längs diesem Brennnlinienbereich 8 eine sehr gute laterale Auflösung erreicht wird. Die längs dieser Linie 8 befindlichen reflektierenden und streuenden Strukturen des zu untersuchenden Objektes 9 erzeugen Ultraschallechos 10 (nur einige mit Pfeilen angedeutet), die über die Polystyrollinse 4 von der gesamten Wandleranordnung 1 aufgenommen werden, um eine hohe Empfindlichkeit zu erreichen. An die einzelnen Ringe 2, 3 der Wandleranordnung 1 sind veränderbare Verzögerungsleitungen 5 angeschlossen, deren Verzögerungswert von der Mitte M zum Rand quadratisch abnimmt. Die Verzögerungsleitungen 5 führen zu einer Signalauswertungseinrichtung 6. Über einen Taktgeber 11, der die Verzögerungsleitungen 5 steuert, wird der Fokussierungsbereich 8 so eingestellt, dass die Wandleranordnung 1 auf die jeweiligen auftretenden Reflektionen des Sendepulses 7 fokussiert ist.

Die Punktantwort A ist gegeben durch die Gleichung

$$A = \text{const} \cdot J_0(x) \cdot J_1(x) / x = \text{const} [J_0(x) J_2(x) + J_2^2(x)]$$

wobei $x = 2\pi a r / \lambda d$ ist.

Dies ist eine wesentliche Charakteristik der Wandleran-

ordnung 1, denn die Punktantwort A gibt das Signal, das ein punktförmiger Reflektor im Objekt 9 liefert. Dabei ist J_0 die Besselfunktion nullter Ordnung, J_1 die Besselfunktion erster Ordnung, J_2 die Besselfunktion zweiter Ordnung. $2a$ ist der Durchmesser der Vollapertur der Linse 4, λ die verwendete Ultraschallwellenlänge, r ist der Abstand eines punktförmigen Reflektors von der Achse 12 der Wandleranordnung 1 und d die Entfernung von der Linse 4 zum Reflektorpunkt im Objekt 9. Die Schwierigkeit bei Anlagen mit grosser Tiefenschärfe liegt darin, dass für alle bekannten Anlagen, die zusätzlich eine hohe laterale Auflösung liefern sollen, die Seitenmaxima neben der Hauptbrennlinie stark störenden Einfluss haben. Bei der Punktantwort A der vorliegenden Anlage gilt für grosse Werte von r :

$$J_0(x) = \sqrt{2/\pi x} \cos [x - (1/4)\pi] \text{ für } r \rightarrow \infty$$

$$J_2(x) = -\sqrt{2/\pi x} \cos [x - (1/4)\pi] \text{ für } r \rightarrow \infty$$

5 Daher ist A für $(r \rightarrow \infty) = 0$, d.h. die Punktantwort klingt sehr schnell ab und wird 0 für grosse Werte von r .

In Fig. 2 ist die Punktantwort A in Richtung r bzw. $x = 2\pi a/\lambda d \cdot r$ aufgetragen. Die Kurve 13 zeigt die mit der erfindungsgemässen Anlage erhaltene Punktantwort A, während
10 die Kurve 14 eine Punktantwort wiedergibt, wie sie mit einer Anlage nach der DE-AS 2 306 247 erhalten wird. Für $r = 0$ bzw. $x = 0$ sind beide Kurven 13 und 14 auf den gleichen Wert $A = 1$ normiert.

