



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 031 168 B3** 2009.01.02

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 031 168.2**

(22) Anmeldetag: **04.07.2007**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **02.01.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **A61C 1/07** (2006.01)  
**B06B 1/06** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, DE**

(74) Vertreter:

**Sommer, P., Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anw., 68165 Mannheim**

(72) Erfinder:

**Kulhanek, Christian, 64683 Einhausen, DE; Rein, Matthias, 64653 Lorsch, DE; Oehme, Bernd, 55128 Mainz, DE**

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

**DE10 2006 008517 A1**

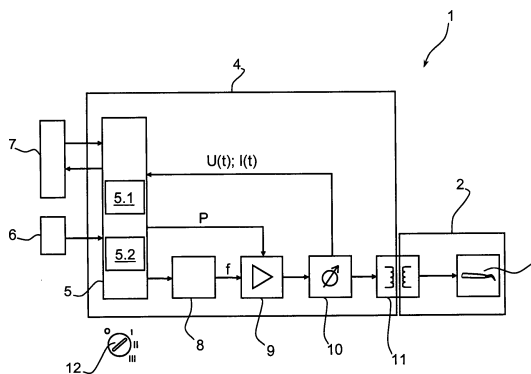
**DE 36 41 058 A1**

**EP 13 69 185 A2**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb einer dentalen Ultraschallvorrichtung sowie dentale Ultraschallvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer dentalen Ultraschallvorrichtung 1 mit einer Anregungsfrequenz  $f_A$ , wobei die Ultraschallvorrichtung 1 ein Handstück 2, umfassend einen Ultraschallantrieb mit einer veränderbaren Ausgangsfrequenz, eine von dem Ultraschallantrieb angetriebene Werkzeugspitze 3 und eine Regelungseinheit 5 zur Regelung der Anregungsfrequenz  $f_A$  des Ultraschallantriebes, wobei die Regelungseinheit 5 bei der Inbetriebnahme der Ultraschallvorrichtung 1 eine Resonanzfrequenz  $f_R$  des Ultraschallantriebes mit der Werkzeugspitze 3 bestimmt und den Ultraschallantrieb auf eine der Resonanzfrequenz  $f_R$  entsprechenden Anregungsfrequenz  $f_A$  regelt. Dabei erfolgt im Betrieb zwecks Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  mehrmals eine Anregungspause, wobei während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze 3 von der Regelungseinheit 5 erfasst und daraus die Resonanzfrequenz  $f_R$  mittels einer FFT ermittelt wird.

Die Erfindung betrifft ferner eine Ultraschallvorrichtung 1 mit Mitteln zur Generierung einer Anregungspause im Betrieb und mit Mitteln, über die während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze 3 erfassbar ist, die mit der Regelungseinheit 5 zusammenwirken.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer dentalen Ultraschallvorrichtung mit einer Anregungsfrequenz  $f_A$ , wobei die Ultraschallvorrichtung ein Handstück, umfassend einen Ultraschallantrieb mit einer veränderbaren Ausgangsfrequenz, eine von dem Ultraschallantrieb angetriebene Werkzeugspitze und eine Regelungseinheit zur Regelung der Anregungsfrequenz  $f_A$  des Ultraschallantriebes, wobei die Regelungseinheit bei der Inbetriebnahme der Ultraschallvorrichtung eine Resonanzfrequenz  $f_R$  des Ultraschallantriebes mit der Werkzeugspitze bestimmt und den Ultraschallantrieb auf eine der Resonanzfrequenz  $f_R$  entsprechenden Anregungsfrequenz  $f_A$  regelt.

**[0002]** Die Erfindung betrifft weiterhin eine dentale Ultraschallvorrichtung vorgenannten Typs zur Durchführung des Verfahrens.

**Stand der Technik**

**[0003]** Bei dentalen Ultraschallvorrichtungen, z. B. Scaler, ist es nötig, bei jedem Einschalten die Resonanzfrequenz des schwingenden Systems, bestehend aus einem Ultraschallantrieb sowie einer von dem Ultraschallantrieb angetriebenen Werkzeugspitze, zu bestimmen. Die Werkzeugspitze wird bei der Bearbeitung abgenutzt oder kann Deformationen erfahren, was sich jeweils auf die Resonanzfrequenz des Systems auswirkt.

**[0004]** Darüber hinaus hängt die Resonanzfrequenz auch von dem Belastungszustand der Werkzeugspitze ab. Es findet eine merkliche Verschiebung der Resonanzfrequenz statt, wenn die Werkzeugspitze an einem zu bearbeitenden Zahn anliegt. Bei konstanter Anregungsfrequenz steigt darüber hinaus die Impedanz und die Schwingungsamplitude bzw. die Leistung fällt ab.

**[0005]** Die DE 600 01 416 T2 offenbart eine Kontrollvorrichtung für ein zahnärztliches Ultraschallhandstück, die einen piezoelektrischen Transducer eines Schwingungserzeugers des Handstücks regelt. Die Vorrichtung ist in der Lage, die Serienresonanzfrequenz unabhängig von der Art des Gewebes, an das das Instrument herangeführt wird, zu halten. Dafür sind zwei Stromkreise vorgesehen, ein Arbeitsstromkreis und ein Steuerstromkreis, wobei der Steuerstromkreis die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung misst und elektrisch kompensiert.

**[0006]** Die DE 39 25 459 A1 offenbart einen Ultraschallerzeuger mit einem piezoelektrischen Wandler. Der Treiberkreis des piezoelektrischen Wandlers ist aus einem durch einen Mikrocomputer gesteuerten Schaltregler gebildet, der einen im Tastverhältnis und

in der Frequenz in Abhängigkeit von der mit einer Messschaltung erfassten Impedanz des Wandlers gesteuerten Oszillator bildet. Die Frequenz und das Tastverhältnis werden dabei so geregelt, dass ein bestimmter Impedanz-Sollwert erreicht wird. Die Impedanz-Messschaltung ist dabei ein Integrator, der als Tiefpass ausgebildet ist. Die Steuereinrichtung steuert eine Anpassung des Tastverhältnisses oder eine Anpassung der Frequenz des Schaltreglers mittels einer dem Schaltregler zugeführten Regelspannung.

**[0007]** Bei einem solchen mikroprozessorgesteuerten System wird entweder eine Resonanz- oder eine Lastregelung für die Ermittlung der Anregungsfrequenz verwendet. Beim Einschalten im Leerlaufbetrieb wird in der Regel die Resonanzregelung verwendet, bei der die Resonanzfrequenz ermittelt und als Anregungsfrequenz eingesetzt wird. Danach, im Betrieb, wird auf die Lastregelung umgeschaltet. Diese gewährleistet einen möglichst konstanten Strom zwecks Abgabe einer möglichst konstanten Leistung. Eine mögliche lastabhängige Verschiebung der Resonanzfrequenz bleibt dabei unberücksichtigt. Anhand von Sekundärmerkmalen wie z. B. eine schnelle Stromänderung, die auf einen Lastfall zurückführt, oder eine langsame Stromänderung, die auf ein Verlassen der Resonanzfrequenz zurückführt, wird die Resonanz- oder die Lastregelung eingestellt. Das System wird somit meistens außerhalb des optimalen Arbeitspunkts, also außerhalb der Resonanzfrequenz mit der eigentlich gewünschten Leistung betrieben.

**[0008]** Aus der nachveröffentlichten DE 10 2006 008 517 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb einer Ultraschallvorrichtung sowie eine dentale Ultraschallvorrichtung bekannt, bei der Resonanzfrequenz des Ultraschallantriebs über Mittel zur Festigung einer Wirkleistung bestimmt wird, wobei während dieser Feststellung die Ausgangsleistung höchstens der vorgeählten Bearbeitungsleistung entspricht. Bei der Inbetriebnahme der Ultraschallvorrichtung wird eine vorgegebener Frequenzbereich mit einer vorgegebenen Ausgangsleistung durchfahren und eine Resonanzfrequenz des Ultraschallantriebs mit der Werkzeugspitze bestimmt. Die Ultraschallvorrichtung verfügt dabei über Mittel zur Messung einer Wirkleistung des Ultraschallantriebs, die mit einer Regelungseinheit zusammenwirken.

**[0009]** Aus der EP 1 369 185 A2 ist eine Vorrichtung zum Antreiben eines Ultraschallwandlers mit einer optimalen Frequenz bekannt, bei der ein Momentanstrom erfasst und ein Spitzenwert dafür festgestellt wird. Erreicht der Momentanstrom einen derartigen Spitzenwert, wird die Frequenz festgehalten und die Ultraschallvorrichtung mit dieser Frequenz betrieben.

**[0010]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb einer dentalen Ultraschallvor-

richtung und eine Ultraschallvorrichtung bereitzustellen, die bei möglichst gleichbleibender Leistung eine zuverlässige Nachführung der Resonanzfrequenz im Betrieb mit einfachen Mitteln gewährleisten.

**[0011]** Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch das in den unabhängigen Ansprüchen offenbarte Verfahren und die Vorrichtung. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindungen sind in den Unteransprüchen wiedergegeben.

**[0012]** Dadurch, dass im Betrieb zwecks Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  mehrmals eine Anregungspause eingelegt wird, wobei während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze von der Regelungseinheit erfasst und daraus die Resonanzfrequenz  $f_R$ , etwa mittels einer Fourier-Analyse wie einer FFT, einer DFT oder einer Zoom-FFT ermittelt wird, kann die Ultraschallvorrichtung in einem optimalen Arbeitspunkt betrieben werden. Neben der Ermittlung der Resonanzfrequenz  $f_R$  in der Anregungspause und einer Nachführung der Anregungsfrequenz  $f_A$  kann während der Anregung im Betrieb unabhängig davon ein Nachschieben der Leistung, also eine Nachregelung des Stromes erfolgen. Somit ist ein gleichmäßiges und komfortables Arbeiten über eine beliebig lange Zeit unter einem beliebigen Lastfall möglich. Anstelle einer einzigen Resonanzfrequenz können auch Resonanzfrequenzen unterschiedlicher Ordnung erfasst werden. Zu Beginn des Betriebes wird die Ultraschallvorrichtung mit einem kurzen Einzelimpuls, z. B. ein Rechteckimpuls mit  $1 \mu\text{s}$  oder eine Impulsfolge, bzw. einem Chirp angeregt und über eine Fourier-Analyse wie z. B. eine OFT, eine Zoom-FFT oder eine FFT ausgewertet. Da das Schwingungssystem eine ausgeprägte Resonanz hat, lässt sich der Arbeitspunkt bzw. die Resonanzfrequenz  $f_R$  gut messen. Der Impuls kann auch aus einer Halbwelle oder einem Teil einer Halbwelle bestehen.

**[0013]** Bei bekannten Ultraschallvorrichtungen kann ein Abfall des Stromes entweder auf ein Verlassen des Resonanzbereichs oder aber auf eine Last zurückzuführen sein. In den Pausen wird stetig die Resonanzfrequenz ermittelt, so dass der Betrieb mit der Resonanzfrequenz gewährleistet ist. Ein Nachschieben der Leistung, also eine Nachregelung des Stromes, kann jederzeit erfolgen. Die Resonanzfrequenz bewegt sich während des Betriebs in einem Frequenzbereichsfenster von etwa 8 kHz. In diesem Frequenzbereichsfenster ist ein einziges Resonanz-Maximum vorhanden. Ungeachtet des Lastfalles, also der tatsächlichen Belastung des Werkzeuges, lässt sich die Resonanzfrequenz mittels einer FFT ermitteln, d. h. auch bei einer sehr hohen Last, die eine Dämpfung der Amplitude hervorruft, ist die Resonanzfrequenz zu ermitteln. Damit ist der Betrieb in der Resonanzfrequenz gewährleistet und bei der Stromregelung kann allein auf die gewünschte Leis-

tung abgestellt werden. Damit wird die Trennung der Zustände Last und Resonanz erreicht.

**[0014]** Hierbei kann es von Vorteil sein, wenn die Anregungspause über eine Dauer von maximal 50 ms, vorteilhafterweise maximal 10 ms oder noch weiter vorteilhafterweise von maximal 5 ms erfolgt. Anregungspausen von weniger als 10 ms sind vom Anwender nicht wahrnehmbar, d. h. es ist kein Leistungsabfall spürbar.

**[0015]** Diesbezüglich kann es von Vorteil sein, wenn eine Anregungspause derart eingestellt wird, dass der Leistungsabfall maximal 20%, vorteilhafterweise maximal 10% oder noch weiter vorteilhafterweise von maximal 5% groß ist. Die Anregungspausen sollten den Normalbetrieb nicht wesentlich beeinflussen. Ein erhöhter Leistungsabfall aufgrund längerer Anregungspausen wäre nachteilig, aber möglich.

**[0016]** Dabei kann es von Vorteil sein, wenn die Anregungspause und die damit verbundene Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  regelmäßig mit einer Frequenz  $f$  wiederholt wird, wobei die Frequenz  $f$  zwischen 1 Hz und 100 Hz, vorzugsweise 15 Hz beträgt. Die damit erreichte Auflösung des Steuerungsprozesses und Nachführung der Anregungsfrequenz  $f_A$  gewährleisten den Betrieb in dem gewünschten Betriebspunkt. Abweichungen hiervon sind nahezu zu vernachlässigen. Während des Betriebs wird in entsprechend kurzen Abständen eine FFT durchgeführt, der optimale Arbeitspunkt bestimmt und die Ultraschallvorrichtung ständig im Arbeitspunkt gehalten. Je größer die Frequenz  $f$  gewählt wird, desto kleiner sollte die jeweilige Anregungspause gewählt werden, damit der Leistungsabfall nicht zu stark ausfällt.

**[0017]** Hierzu kann es von Vorteil sein, wenn die Regelungseinheit den Anregungsstrom regelt und unabhängig von der Anregungsfrequenz einen konstanten Strom für den Ultraschallantrieb einstellt, wobei die Stromregelung durch eine Variation der Amplitude  $A$  der Anregungsspannung oder durch eine Variation der Impulsbreite der Anregungsspannung erfolgt. Der schnelle und kontinuierlich einsetzende Stromregler gewährleistet einen konstanten Strom für alle Lastfälle. Die Zustände „Last“ und „Resonanz“ sind somit getrennt. Beide Zustände werden unabhängig voneinander gemessen. Die Charakteristik des Nachschiebens, also des Regelungsverhaltens für den Strom bzw. für die Spannung, kann an die gewünschte Behandlungsmethode wie nachstehend erläutert angepasst werden.

**[0018]** Im Leerlauf der Ultraschallvorrichtung wird vorzugsweise eine minimale Anregungsspannung angelegt, womit das System geschont wird. Im Betrieb wird die Anregungsspannung bzw. der Anregungsstrom je nach gewünschter Arbeitsleistung nachgeregelt. Die Charakteristik des Nachregelns

kann je nach Behandlungsmethode flexibel angepasst werden. Zum Glätten der Zahnoberfläche ist es vorteilhaft, die durch den Strom bzw. die Spannung bestimmte Schwingungsamplitude nur gering nachzuregeln, also unterkompensiert zu betreiben. Zum Abtragen der Zahnoberfläche ist von Vorteil, die Schwingungsamplitude stark nachzuschieben, also überkompensiert zu betreiben.

**[0019]** Vorteilhaft kann es hierzu sein, wenn zwecks Ermittlung der Resonanzfrequenz  $f_R$  eine Fourier-Analyse verwendet wird, wobei mit der Auswertung der Fourier-Analyse zwecks Ermittlung der Resonanzamplituden der Werkzeugspitze auch der Lastzustand der Werkzeugspitze ermittelt wird. Die Amplitude der ermittelten Resonanzfrequenz lässt einen Schluss auf die vorliegende Belastung der Werkzeugspitze zu. Unter Last wird die Amplitude kleiner. Im Leerlauf ist die Amplitude am größten. Dies ist in **Fig. 5b** dargestellt.

**[0020]** Die Erfindung betrifft auch eine dentale Ultraschallvorrichtung mit einem Handstück, umfassend einen Ultraschallantrieb mit einer veränderbaren Ausgangsfrequenz und eine von dem Ultraschallantrieb angetriebene Werkzeugspitze, weiterhin umfassend eine Regelungseinheit zur Regelung der Anregungsfrequenz  $f_A$  des Ultraschallantriebes, wobei Mittel zur Generierung einer vorzugsweise regelmäßigen Anregungspause im Betrieb in einer Frequenz  $f$  zwischen 1 Hz und 100 Hz und weiterhin Mittel vorhanden sind, über die während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze erfassbar und auswertbar ist, wobei die Mittel mit der Regelungseinheit zusammenwirken und eine Anregungspause von maximal 50 ms, vorteilhafterweise maximal 10 ms oder noch weiter vorteilhafterweise von maximal 5 ms einstellbar ist.

**[0021]** Mit einer solchen Ultraschallvorrichtung lässt sich die erfindungsgemäße Trennung von Lastfall und Resonanzfall gewährleisten.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0022]** Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

**[0023]** **Fig. 1** eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen dentalen Ultraschallvorrichtung;

**[0024]** **Fig. 2a** ein Flussdiagramm zur Darstellung der erfindungsgemäßen Verfahren;

**[0025]** **Fig. 2b** ein Flussdiagramm zur Darstellung der erfindungsgemäßen Verfahren;

**[0026]** **Fig. 3** ein Diagramm mit der Abhängigkeit des Betrages der Impedanz von der Frequenz;

**[0027]** **Fig. 4** ein Diagramm mit der Abhängigkeit der Wirkleistung von der Frequenz;

**[0028]** **Fig. 5a** eine graphische Darstellung eines abklingenden Spannungsverlaufs;

**[0029]** **Fig. 5b** eine graphische Darstellung der FFT-Analyse.

#### Ausführungsform der Erfindung

**[0030]** **Fig. 1** zeigt eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen dentalen Ultraschallvorrichtung **1**. Die dentale Ultraschallvorrichtung **1** besteht aus einem schematisch dargestellten Handstück **2** mit einer Werkzeugspitze **3**. In das Handstück **2** ist ein piezoelektrischer Ultraschallantrieb integriert, der nicht dargestellt ist. Weiterhin ist eine Regelungseinheit **4** zur Regelung des Ultraschallhandstücks **2** vorgesehen.

**[0031]** Die Regelungseinheit **4** weist sowohl erste Mittel **5.1** zur Generierung einer Anregungspause als auch zweite Mittel **5.2** auf, über die während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze **3** erfassbar und auswertbar ist.

**[0032]** Den Kern der Regelungseinheit **4** bildet ein Controller **5** mit integrierten Schaltkreisen. Mittels eines an den Controller **5** angeschlossenen Potentiometers **6** und einem Interface **7** erhält der Controller **5** Regelvorgaben zur Regelung des Ultraschallantriebes. Über das Potentiometer **6** wird die gewünschte Bearbeitungsleistung vorgegeben, beispielsweise durch einen nicht dargestellten Fußschalter. Das Interface **7** kann weitere Vorgaben über den Betriebsmodus der Werkzeugspitze **3** geben, beispielsweise die Aggressivität der Werkzeugspitze **3** oder eine Vorgabe über eine maximale Bearbeitungsleistung.

**[0033]** Der Controller **5** kann darüber hinaus Signale an das Interface **7** übergeben, beispielsweise zur Anzeige des Betriebszustandes der Ultraschallvorrichtung **1** an einer nicht dargestellten Anzeigeeinheit.

**[0034]** In Abhängigkeit von den durch das Interface **7** und das Potentiometer **6** eingegebenen Regelvorgaben steuert der Controller **5** einen spannungsgesteuerten Oszillator **8**, der in Abhängigkeit von der angelegten Spannung  $U(t)$  eine Frequenz  $f$  erzeugt. Der Oszillator **8** kann auch Bestandteil des Controllers **5** sein. Der Controller **5** gibt einem Verstärker **9** eine Leistungsvorgabe  $P$ , die von der gewählten Bearbeitungsleistung abhängt.

**[0035]** Dem Oszillator **8** und dem Verstärker **9** ist ein Strom- und Spannungsmesser **10** für den Strom  $I(t)$  und die Spannung  $U(t)$  nachgeschaltet, der den zeitlichen Strom- und Spannungsverlauf erfasst und an den Controller **5** übergibt. Ein Übertrager **11** transfor-

miert die Spannung  $U(t)$  hoch und überträgt sie an den piezoelektrischen Ultraschallantrieb.

**[0036]** An der Ultraschallvorrichtung **1** ist ein Stellmittel in Form eines Vorwahlschalters **12** vorgesehen, mit dem man eine Lastkompensation einschalten bzw. einstellen kann, um entweder in der Stellung „0“ ein einfaches Glätten des Zahns oder in den Stellungen „I“ bis „III“ ein Entfernen von Zahnmaterial mit zunehmender Abtragsleistung durchzuführen.

**[0037]** Aufgrund der Tatsache, dass das gesamte System Rückkopplungen erfährt, sind die abgegebene Spannung  $U(t)$  und der abgegebene Strom  $I(t)$  von dem Schwingungs- und Belastungszustand der Werkzeugspitze **3** abhängig. Diese Abhängigkeit wird in den nachfolgenden Diagrammen erläutert.

**[0038]** [Fig. 2a](#) zeigt ein Flussdiagramm zur Darstellung der erfindungsgemäßen Verfahren.

**[0039]** Nach dem Einschalten der Ultraschallvorrichtung **1** in **21** wird diese zunächst in **22** mit einer Anregungsfrequenz  $f_A$  betrieben. Da die Ultraschallvorrichtung in der Regel im Leerlauf ist, wird zunächst eine minimale Anregungsspannung bzw. ein minimaler Anregungsstrom angelegt.

**[0040]** Zwecks Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  wird in **23** eine möglichst abrupte Anregungspause mit einer Länge zwischen 5 ms und 10 ms eingelegt.

**[0041]** Alternativ kann gemäß [Fig. 2b](#) das Anregen in **22'** mit einer geschätzten Resonanzfrequenz bzw. „Schätzfrequenz“ erfolgen, wobei das Anregen nur sehr kurz bzw. mit einem kurzen Impuls erfolgt, an den sich die abrupte Anregungspause in **23** anschließt.

**[0042]** Während der Anregungspause wird in **24** das abklingende Signal der Ultraschallvorrichtung **1** bzw. das über die Werkzeugspitze **3** im piezoelektrischen Ultraschallantrieb eingekoppelte Signal des Verlaufs der Spannung über der Zeit erfasst.

**[0043]** Unmittelbar nach der Anregungspause wird die Ultraschallvorrichtung **1** in **25** zunächst wieder mit der Anregungsfrequenz  $f_A$  betrieben. Mittels einer DFT, Zoom-FFT oder FFT wird in **26** die Resonanzfrequenz  $f_R$  gemäß [Fig. 5a](#), [Fig. 5b](#) bestimmt. Sobald die Resonanzfrequenz  $f_R$ , also die Frequenz für die maximale Schwingungsamplitude gemäß [Fig. 5b](#) ermittelt ist, wird in **27** die Anregungsfrequenz  $f_A$  auf die Resonanzfrequenz  $f_R$  eingestellt. Wenn die Ermittlung der Resonanzfrequenz  $f_R$  ausreichend schnell, also innerhalb der Anregungspause erfolgt, wird nach der Anregungspause unmittelbar mit der Resonanzfrequenz  $f_R$  angeregt.

**[0044]** Unter Berücksichtigung der gewünschten

Leistung werden in **28** die Anregungsspannung bzw. der Anregungsstrom nachgeführt. Im pausenfreien Betrieb findet die Nachführung ständig statt.

**[0045]** Die Ultraschallvorrichtung **1** ist somit kurz nach dem Einschalten nach einmaligem Durchlaufen vorstehend beschriebener Einstellungsschleife einsatzbereit.

**[0046]** Außer bei der Abfrage des Ausschaltens der Ultraschallvorrichtung **1** in **29** und dem Ende der Bearbeitung in **30** wird in **31** regelmäßig eine Anregungspause eingelegt mit anschließender Nachführung der Anregungsfrequenz  $f_A$  sowie Nachführung der Leistung.

**[0047]** [Fig. 3](#) stellt den Verlauf des Betrages einer Impedanz  $|Z|$  in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$  eines dentalen Ultraschallsystems bzw. dessen Antriebs dar. Bei dem Betrieb mit der Resonanzfrequenz  $f_R$  schwingen Strom  $I(t)$  und Spannung  $U(t)$  nahezu gleichphasig, so dass der Betrag der Impedanz  $|Z|$  minimal wird und auf  $|Z|_{\min}$  abfällt.

**[0048]** Die Gleichphasigkeit von Strom  $I(t)$  und Spannung  $U(t)$  bewirkt weiterhin, dass das Produkt aus Strom  $I(t)$  und Spannung  $U(t)$  und damit auch eine resultierende Wirkleistung  $P_W$  maximal wird. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt wird, fällt die Wirkleistung  $P_W$  zu beiden Seiten der Resonanzfrequenz  $f_R$  rasch ab, so dass nur ein schmales Maximum  $P_{W,\max}$  vorhanden ist. Da die Abtragsleistung in einem näherungsweise proportionalen Zusammenhang mit der Wirkleistung  $P_W$  steht, sollte die dentale Ultraschallvorrichtung **1** immer in der Resonanz, also mit der Resonanzfrequenz  $f_R$  betrieben werden, um eine optimale Bearbeitungsleistung zur Verfügung zu haben und darüber hinaus einen definierten Schwingungszustand zu halten. Dies gewährleistet die erfindungsgemäße Nachführung der Anregungsfrequenz  $f_A$ . Somit können auch Frequenzabweichungen der Resonanzfrequenz  $f_R$  unter Last ständig ausgeglichen werden.

**[0049]** [Fig. 5a](#) zeigt das abklingende Signal der Spannung  $U$  des Piezoelements der in der Anregungspause befindlichen Ultraschallvorrichtung **1** über der Zeit  $t$ . Dieses Spannungssignal wird mittels einer FFT ausgewertet. Das Ergebnis ist in [Fig. 5b](#) dargestellt. Bei dem Peak mit der höchsten Amplitude  $A$  handelt es sich um die Resonanzfrequenz  $f_R$ .

**[0050]** Die Amplitude  $A$  ist grundsätzlich vom Belastungszustand abhängig. Wie in [Fig. 5b](#) im Amplitudenverlauf mit den Kreisen dargestellt ist im Leerlauf der Wert  $LL$  der Amplitude  $A$  höher als der Wert  $La$  der Amplitude  $A$  unter Last. Der Wert der Amplitude  $A$  würde ausgehend vom Leerlauf  $LL$  unter Last  $La$  auf den mit dem Kreis gekennzeichneten Wert  $La$  der Amplitude  $A$  abfallen. Die FFT kann demnach auch zur Bestimmung des Belastungszustandes des

Werkzeuges herangezogen werden.

#### Bezugszeichenliste

1	Ultraschallvorrichtung
2	Handstück, Ultraschallhandstück
3	Werkzeugspitze
4	Regelungseinheit
5	Regelungseinheit, Controller
5.1	erste Mittel
5.2	zweite Mittel
6	Potentiometer
7	Interface
8	Oszillator
9	Verstärker
10	Strom- und Spannungsmesser
11	Übertrager
12	Vorwahlschalter
A	Amplitude
f	Frequenz
$f_A$	Anregungsfrequenz
$f_R$	Resonanzfrequenz
I(t)	Strom
La	Wert der Amplitude A
LL	Wert der Amplitude A
P	Leistungsvorgabe
$P_w$	Wirkleistung
$P_{w,max}$	maximale Wirkleistung, Maximum
U	Spannung
U(t)	Spannung
t	Zeit
Z	Impedanz
$ Z _{min}$	minimale Impedanz
0	Stellung
I	Stellung
II	Stellung
III	Stellung

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer dentalen Ultraschallvorrichtung (1) mit einer Anregungsfrequenz  $f_A$ , wobei die Ultraschallvorrichtung (1) ein Handstück (2) aufweist, umfassend einen Ultraschallantrieb mit einer veränderbaren Ausgangsfrequenz, eine von dem Ultraschallantrieb angetriebene Werkzeugspitze (3) und eine Regelungseinheit (5) zur Regelung der Anregungsfrequenz  $f_A$  des Ultraschallantriebes, wobei die Regelungseinheit (5) bei der Inbetriebnahme der Ultraschallvorrichtung (1) eine Resonanzfrequenz  $f_R$  des Ultraschallantriebes mit der Werkzeugspitze (3) bestimmt und den Ultraschallantrieb auf eine der Resonanzfrequenz  $f_R$  entsprechende Anregungsfrequenz  $f_A$  regelt, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Betrieb zwecks Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  mehrmals eine Anregungspause eingelegt wird, wobei während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze (3) von der Regelungseinheit (5) erfasst und daraus die Resonanzfrequenz  $f_R$  ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungspause über eine Dauer von maximal 50 ms, maximal 10 ms oder maximal 5 ms erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anregungspause derart eingestellt wird, dass der Leistungsabfall maximal 50%, maximal 10% oder maximal 5% groß ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungspause und die damit verbundene Bestimmung der Resonanzfrequenz  $f_R$  regelmäßig mit einer Frequenz  $f$  wiederholt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz  $F$  zwischen 1 Hz und 100 Hz, vorzugsweise 15 Hz beträgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinheit (5) einen Anregungsstrom  $I$  regelt und unabhängig von der Anregungsfrequenz  $f_A$  einen konstanten Strom für den Ultraschallantrieb einstellt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromregelung durch eine Variation der Amplitude  $A$  einer Anregungsspannung oder durch eine Variation einer Impulsbreite der Anregungsspannung erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwecks Ermittlung der Resonanzfrequenz  $f_R$  eine Fourier-Analyse verwendet wird, wobei mit der Auswertung der Fourier-Analyse zwecks Ermittlung der Resonanzamplituden der Werkzeugspitze (3) auch der Lastzustand der Werkzeugspitze (3) ermittelt wird.

9. Dentale Ultraschallvorrichtung (1) mit einem Handstück (2), umfassend einen Ultraschallantrieb mit einer veränderbaren Ausgangsfrequenz und eine von dem Ultraschallantrieb angetriebene Werkzeugspitze (3), und weiterhin umfassend eine Regelungseinheit (5) zur Regelung der Anregungsfrequenz  $f_A$  des Ultraschallantriebes, dadurch gekennzeichnet, dass erste Mittel (5.1) zur Generierung einer Anregungspause im Betrieb vorhanden sind und dass weiterhin zweite Mittel (5.2) vorhanden sind, über die während der Anregungspause das Schwingungsverhalten der Werkzeugspitze (3) erfassbar und auswertbar ist, wobei die ersten Mittel (5.1) und die zweiten Mittel (5.2) mit der Regelungseinheit (5) zusammenwirken.

10. Dentale Ultraschallvorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anregungspause von maximal 50 ms, 10 ms oder 5 ms einstellbar ist.

11. Dentale Ultraschallvorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Generierung einer regelmäßigen Anregungspause vorhanden sind.

12. Dentale Ultraschallvorrichtung (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Generierung einer regelmäßigen Anregungspause in einer Frequenz  $f$  zwischen 1 Hz und 100 Hz vorhanden sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen





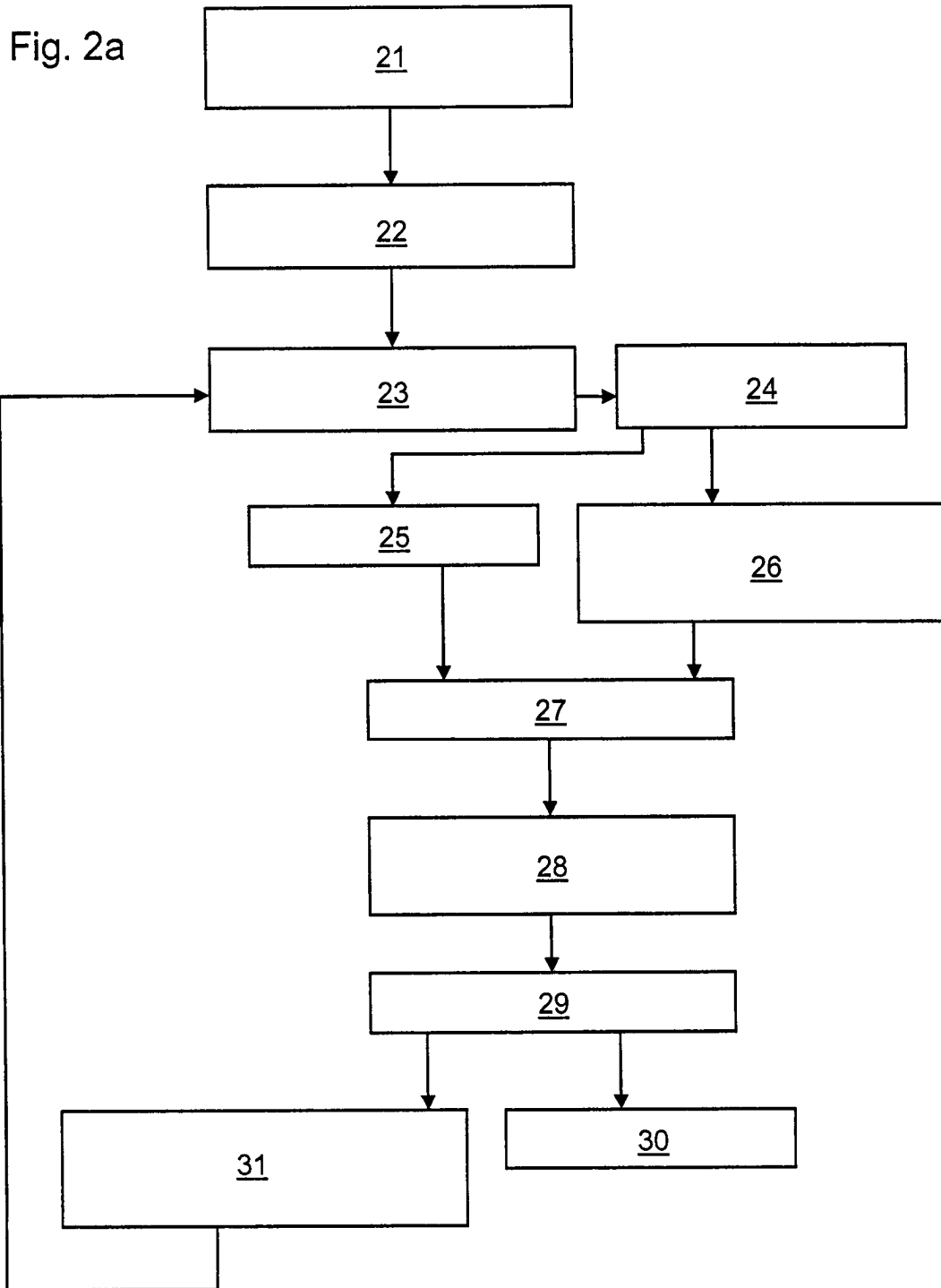


Fig. 2b

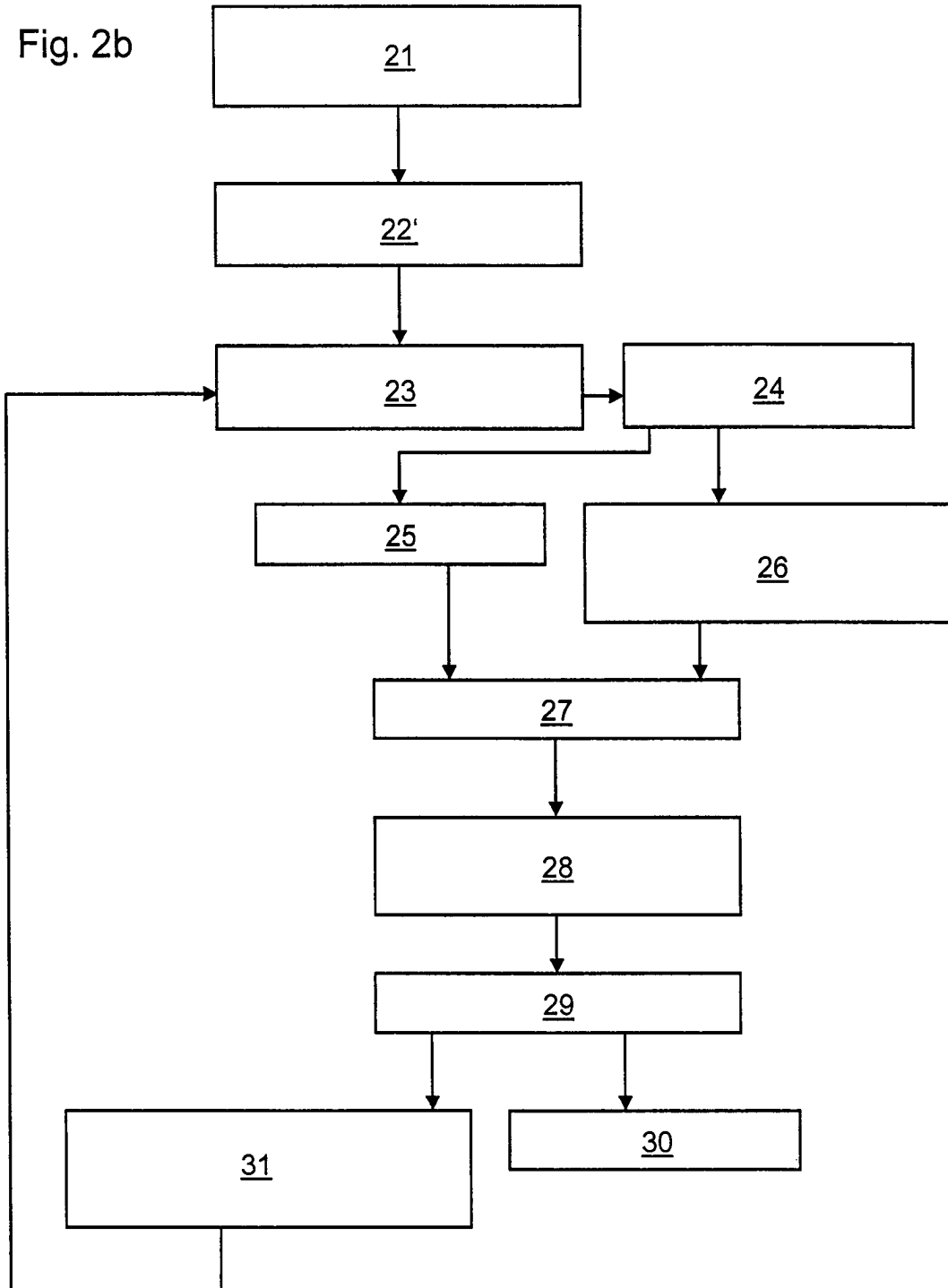


Fig. 3

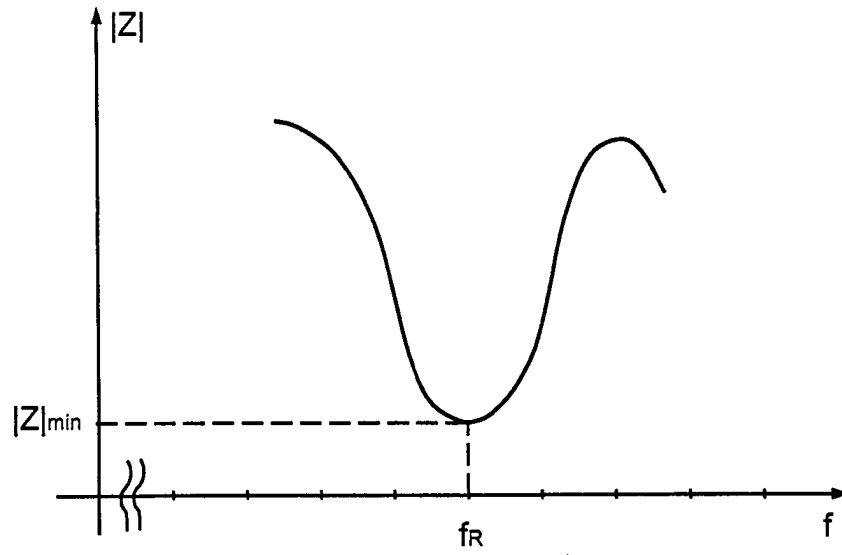


Fig. 4

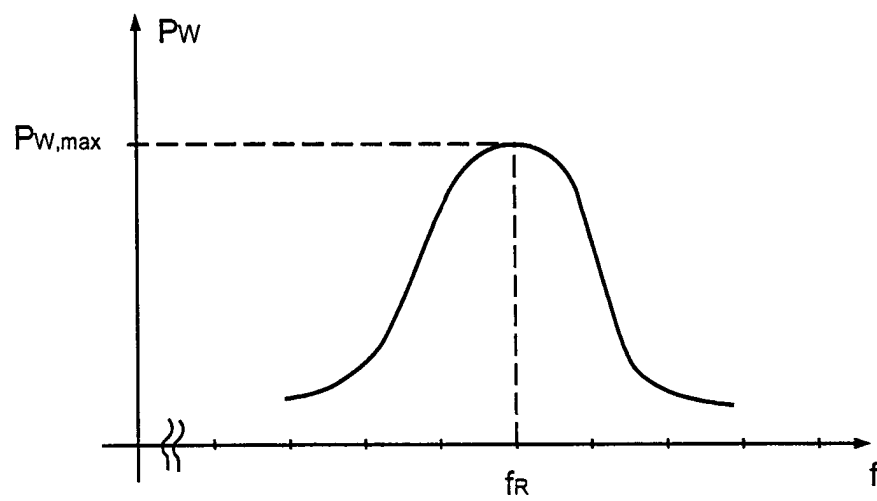


Fig. 5a

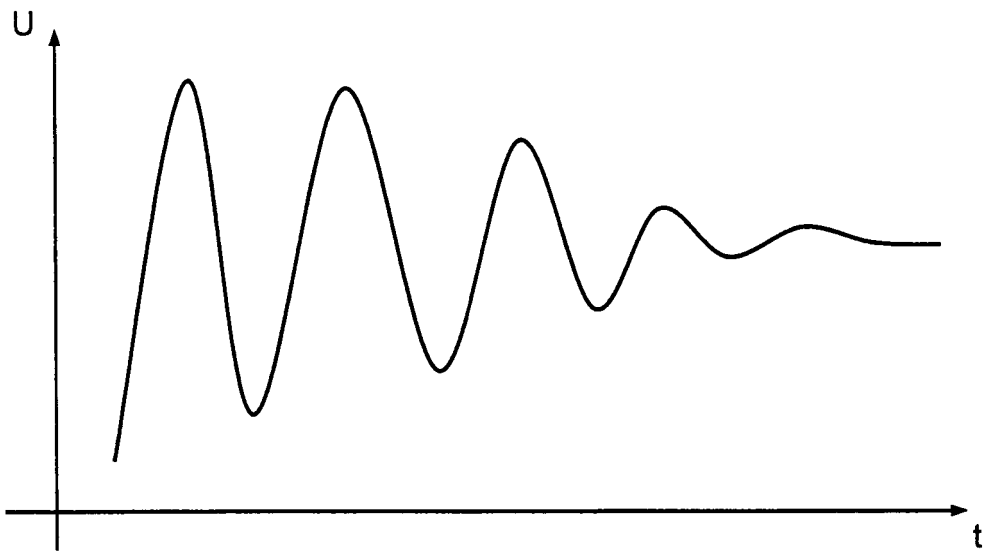


Fig. 5b

