

(19)



(11)

EP 2 384 259 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.06.2013 Patentblatt 2013/26

(51) Int Cl.:
B24B 1/04 (2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/067375

(21) Anmeldenummer: **09795760.9**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/076230 (08.07.2010 Gazette 2010/27)

(22) Anmeldetag: **17.12.2009**

(54) HANDGEHALTENE ELEKTROWERKZEUGMASCHINE

HANDHELD ELECTRIC MACHINE TOOL

MACHINE-OUTIL ÉLECTRIQUE PORTATIVE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**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 SE SI SK SM TR**

- **DELFINI, Stefano**
CH-2544 Bettlach (CH)
- **KOEDER, Thilo**
70839 Gerlingen (DE)
- **PLATZER, Joachim**
71686 Remseck-Hochberg (DE)
- **SPREMO, Ivan**
70197 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **05.01.2009 DE 102009000030**
14.07.2009 DE 102009027688

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.11.2011 Patentblatt 2011/45

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 340 661 EP-A2- 0 341 942
EP-A2- 1 598 171 WO-A1-2004/020134
DE-A1- 4 444 853 DE-A1-102007 021 338
DE-U1- 9 003 031 US-B1- 6 617 760

(72) Erfinder:
• **ROSER, Jochen**
71636 Ludwigsburg (DE)

EP 2 384 259 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einer handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, umfassend ein Gehäuse mit einem Griffbereich, einen Werkzeugbereich für ein linear und/oder rotativ oszillierend antreibbares Werkzeug, ein gehäusesseitiges Bedienteil zur benutzerseitigen Aktivierung des Werkzeugs und/oder der Elektrowerkzeugmaschine, eine im Gehäuse angeordnete Antriebseinheit zur Erzeugung einer Arbeitsbewegung des Werkzeugs, eine im Gehäuse angeordnete Elektronikeinheit zum Beaufschlagen der Antriebseinheit mit der benötigten Bearbeitungsleistung bestehend aus wenigstens Steuer- und/oder Regelsignalen, eine Betriebsspannungseinheit zur Bereitstellung einer elektrischen Gleichspannung an die Elektronikeinheit, wobei die Antriebseinheit wenigstens einen Anregungsaktor mit einem Volumen anregungsaktiven Materials umfasst, welcher im Betrieb von der Betriebsspannungseinheit elektrisch versorgt ist, von der Elektronikeinheit gesteuert oder geregelt ist.

[0002] Eine solche Elektrowerkzeugmaschine geht beispielsweise aus der EP1598 171 A2 hervor.

[0003] Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschinen zeichnen sich dadurch aus, dass diese tragbar sind und von einem Bediener im Betrieb in der Hand gehalten und geführt werden. Sie können kabellos über Batteriepacks oder mit Netzstrom betrieben werden. Insbesondere bestehen diese in der Regel aus nur einem Gehäuse, welches vollständig vom Benutzer gehalten wird.

[0004] In der EP 1598171 B1 wird ein mechanischer Aufbau eines Schweißkopfes einer tragbaren Schweißpistole beschrieben, bei der ein Ultraschallaktor den Schweißkopf mit mechanischer Leistung beaufschlagt. Die Schweißpistole umfasst ein Gehäuse mit einem Griffbereich, einen Werkzeugbereich für ein linear und/oder oszillierend antreibbares Werkzeug, ein gehäusesseitiges Bedienteil zur benutzerseitigen Aktivierung des Werkzeugs und/oder der Schweißpistole, eine im Gehäuse angeordnete Antriebseinheit zur Erzeugung einer Arbeitsbewegung des Werkzeugs, eine im Gehäuse angeordnete Elektronikeinheit zum Beaufschlagen der Antriebseinheit mit wenigstens Steuer- und/oder Regelsignalen, eine Betriebsspannungseinheit zur Bereitstellung einer elektrischen Gleichspannung, wobei die Antriebseinheit wenigstens einen Anregungsaktor mit einem Volumen anregungsaktiven Materials umfasst, welcher im Betrieb von der Betriebsspannungseinheit elektrisch versorgt ist, und von der Elektronikeinheit gesteuert oder geregelt ist.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Die Erfindung geht aus von einer handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine, umfassend ein Gehäuse mit einem Griffbereich, einen Werkzeugbereich für ein

linear und/oder rotativ oszillierend antreibbares Werkzeug, ein gehäusesseitiges Bedienteil zur benutzerseitigen Aktivierung des Werkzeugs und/oder der Elektrowerkzeugmaschine, eine im Gehäuse angeordnete Antriebseinheit zur Erzeugung einer Arbeitsbewegung des Werkzeugs, eine im Gehäuse angeordnete Elektronikeinheit zum Beaufschlagen der Antriebseinheit mit wenigstens Steuer- und/oder Regelsignalen, eine Betriebsspannungseinheit zur Bereitstellung einer elektrischen Gleichspannung an die Elektronikeinheit, wobei die Antriebseinheit wenigstens einen Anregungsaktor mit einem Volumen anregungsaktiven Materials umfasst, welcher im Betrieb von der Betriebsspannungseinheit elektrisch versorgt ist, von der Elektronikeinheit gesteuert oder geregelt ist.

[0006] Es wird vorgeschlagen, dass die Elektronikeinheit ausgebildet ist, um den wenigstens einen Anregungsaktor in einer Resonanzfrequenz zu betreiben.

[0007] Ferner ist das anregungsaktive Material piezoelektrisch, wobei das Volumen des piezoelektrischen Materials mindestens 0,2 cm³ beträgt, und der wenigstens eine Anregungsaktor weist eine Leistungsdichte von mindestens 5 Watt/cm³ auf, bezogen auf das Volumen des piezoelektrisch aktiven Materials des wenigstens einen Anregungsaktors. Die Elektronikeinheit umfasst eine Regeleinheit mit Frequenzanpassung zur Nachführung der Resonanzfrequenz des wenigstens einen Anregungsaktors, welche Regeleinheit eine Leistungserzeugungseinheit der Elektronikeinheit derart ansteuert, dass die Leistungserzeugungseinheit mittels einer Sinus-Dreieck-Modulation eine sinusähnliche Rechteckspannung erzeugt, wobei die Anzahl von Rechteckimpulsen pro Periodendauer des Sinussignals größer als 6 ist.

[0008] Wird der Anregungsaktor mit seiner Resonanzfrequenz betrieben, so kann bei ausreichend hoher Güte des Schwingensystems entsprechend einer elektrischen Eingangsleistung eine hohe mechanische Ausgangsleistung abgegeben werden. Der Anregungsaktor kann ein Ultraschallanregungsaktor sein, insbesondere ein Piezoaktor in Bauweise eines Langevin-Schwingers. Der Piezoaktor weist als anregungsaktives Material piezoelektrisches Material auf. Typischerweise liegt die Güte des ungedämpften Schwingensystems bei Werten über 100 typischerweise über 500. Das Resonanzsystem des Anregungsaktors, das die Resonanzfrequenz aufweist, umfasst den Langevin-Schwinger mit piezoelektrisch aktivem Material und an den Schwinger angekoppelte Komponenten, insbesondere Komponenten, die den Ultraschall verstärken und/oder zu einem Bearbeitungsort übertragen. Solche Komponenten sind z.B. als Booster oder Sonotrode bekannt. Dies ermöglicht eine Baugrößenreduktion und die Bereitstellung eines kompakten Geräts. Vorteilhaft wird damit eine kompakte Elektrowerkzeugmaschine hoher Leistungsfähigkeit geschaffen, die gleichzeitig handlich ist.

[0009] Es können auch mehrere Anregungsaktoren, z.B. mit gleicher oder auch mit unterschiedlicher Reso-

nanzfrequenz, als Antriebskomponente vorgesehen sein. Alternativ können auch eine oder mehrere weitere Antriebskomponenten, etwa ein Elektromotor, vorgesehen sein. Die verschiedenen Antriebskomponenten können alternativ oder in Kombination betrieben werden. Wird der wenigstens eine Anregungsaktor in Resonanz betrieben, ist die Leistungsausbeute besonders hoch, so dass bei gegebener Ausgangsleistung der Elektrowerkzeugmaschine die Bauweise besonders kompakt sein kann, was der komfortablen Handhabung der handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine dient. Die vorgeschlagene Elektrowerkzeugmaschine ist ein einteiliges Gerät, bei dem auf störende Verbindungskabel zwischen separaten Gehäuseteilen verzichtet werden kann. Die Elektrowerkzeugmaschine kann schnurlos mit Batterien oder Akkus betreibbar sein oder auch - zusätzlich oder alternativ - mit Netzstrom über ein Netzkabel betreibbar sein. Das Werkzeug kann ein Einsatzwerkzeug sein, das lösbar mit dem Anregungsaktor verbunden ist, oder es kann mit dem Anregungsaktor fest verbunden sein. Die Verbindung kann z.B. stoffschlüssig oder kraftschlüssig sein. Die Elektrowerkzeugmaschine ist insbesondere eine Bearbeitungsmaschine, mit der Gegenstände oder Oberflächen bearbeitet oder verändert werden, wie etwa Bohrer, Bohrhämmer, Schneidwerkzeuge, Schleifmaschinen, Fräsen, Sägen, Schweißgeräte und dergleichen.

[0010] Gemäß der Erfindung umfasst die Elektronikeinheit eine Regeleinheit mit Frequenzanpassung zur Nachführung der Resonanzfrequenz des wenigstens einen Anregungsaktors. Vorteilhaft kann im Betrieb der Elektrowerkzeugmaschine die Resonanzfrequenz kontinuierlich angepasst werden, wenn sich etwa wegen Temperaturänderung, Wechsel des an den Anregungsaktor angekoppelten Werkzeugs oder bei Belastung des Werkzeugs die Resonanzfrequenz des Anregungsaktors ändert. Damit wird im Betrieb stets eine optimale Leistungsausbeute ermöglicht. Vorteilhaft kann die Elektronikeinheit eine Phasenregelkette umfassen, mit der die Resonanzfrequenz mit hoher Genauigkeit angeregt werden kann. So kann eine Phasenverschiebung zwischen elektrischem Strom und elektrischer Spannung, welche dem piezoelektrisch aktiven Material zur Anregung der Ultraschallschwingungen zugeführt werden, auf einen festen Wert, insbesondere 0° Phasendifferenz zwischen dem Strom- und Spannungssignal, eingestellt und gehalten werden, womit eine optimale Leistungsausbeute erreicht werden kann.

[0011] Das Volumen des piezoelektrisch aktiven Materials beträgt mindestens $0,2 \text{ cm}^3$, vorzugsweise $0,5 \text{ cm}^3$, insbesondere mindestens 1 cm^3 . Vorteilhaft kann eine ausreichende Ultraschalleistung bei kleiner Baugröße des Anregungsaktors erreicht werden.

[0012] Der wenigstens eine Anregungsaktor weist eine Leistungsdichte von mindestens 5 Watt/cm^3 , vorzugsweise von mindestens 20 Watt/cm^3 , bezogen auf das Volumen des piezoelektrisch aktiven Materials des wenigstens einen Anregungsaktors auf. Eine entsprechend

hohe Leistungsdichte ist vorteilhaft für eine handgehaltene kompakte Elektrowerkzeugmaschine mit möglichst kleinen Abmessungen und geringen Herstellkosten.

[0013] Gemäß einer günstigen Weiterbildung kann der wenigstens eine Anregungsaktor an der Werkzeugschulter eine Schwingamplitude von mindestens $3 \mu\text{m}$, vorzugsweise mindestens $8 \mu\text{m}$, insbesondere mindestens $12 \mu\text{m}$ aufweisen. Eine entsprechend hohe Schwingamplitude ist vorteilhaft für eine gute Leistungsübertragung auf das Werkstück und damit für einen hohen Arbeitsfortschritt durch die Elektrowerkzeugmaschine.

[0014] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann eingangsseitig der Elektronikeinheit eine elektrische Leistung zur Beaufschlagung des wenigstens einen Anregungsaktors mindestens 20 Watt betragen. Vorteilhaft kann damit eine ausreichende Leistung für eine Elektrowerkzeugmaschine sichergestellt werden. Übliche Leistungen liegen im Heimwerkerbereich, für kleine Schneidsysteme etwa zwischen 20 Watt und 250 Watt, vorzugsweise 50 Watt bis 150 Watt. Für leistungstärkere Anwendungen, z.B. Bohren, werden Leistungen ab 50W bis 1000W, vorzugsweise 200 Watt bis 500 Watt benötigt. Im professionellen Handwerkerbereich liegt der Leistungsbedarf für kleine Systeme etwa zwischen 50 und 400 Watt, vorzugsweise 100 bis 250 Watt. Bei großen Systemen werden Leistungen von 200 W bis 2000 Watt, vorzugsweise 400 Watt bis 1000 Watt eingesetzt. Trotzdem kann eine Elektrowerkzeugmaschine mit handlichen Abmessungen geschaffen werden, die zum einen von der Hand des Bearbeiters umfasst oder gehalten werden kann und zum anderen ausreichend Leistung zur Bearbeitung bereitstellt.

[0015] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann eine maximale elektrische Anregungsfeldstärke des wenigstens einen Anregungsaktors im Bereich unterhalb von 300 V/mm liegen (bezogen auf die Dicke, insbesondere Scheibendicke, des piezoelektrisch aktiven Materials), vorzugsweise im Bereich zwischen 50 V/mm und 220 V/mm . Bei einer Scheibendicke des Anregungsaktors von typischerweise 1 mm bis 10 mm, vorzugsweise 2 mm bis 6 mm, insbesondere um 5 mm liegen die elektrischen Spannungen bei unter 1000 Volt. Dies ermöglicht vorteilhaft einen Einsatz des Anregungsaktors in der handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine mit ausreichender mechanischer Ausgangsleistung bei vorteilhaft kleinen Abmessungen.

[0016] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann eine elektrische Ausgangsspannung der Betriebsspannungseinheit bei Versorgung mit Elektrochemischen Speichern innerhalb von 3 Volt bis 100 Volt DC liegen vorzugsweise im Bereich von 3,5V bis 40V, insbesondere bei 36 Volt, 24 Volt, 18 Volt, 14,4 Volt, 12 Volt, 10,6 Volt, 7,2 Volt und 3,6 Volt. Vorteilhaft können Batteriepacks oder nachladbare Akkupacks eingesetzt werden, die klein und leicht genug sind, um eine gute Handhabbarkeit der Elektrowerkzeugmaschine bei hoher Ausgangsleistung noch zu gewährleisten.

[0017] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Er-

findung kann ein Gleichspannungsanteil der elektrischen Ausgangsspannung der Betriebsspannungseinheit bei Versorgung mit Netzspannung innerhalb $0,5 U_{\text{Netz}}$ (Effektivwert der Netzspannung) bis $2 U_{\text{Netz}}$ liegen. Vorzugsweise z.B. unter Verwendung eines Brückengleichrichters mit Glättungskondensator bei $1,4 U_{\text{Netz}}$. In einer weiteren Ausführung kann die Netzspannung mittels eines eingangsseitigen Transformators auf eine für die Betriebsspannungseinheit geeignete Spannung gewandelt werden.

[0018] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Betriebsfrequenz des wenigstens einen Anregungsaktors im Bereich zwischen 10 kHz und 1000 kHz, vorzugsweise zwischen 30 kHz und 50 kHz, insbesondere zwischen 35 kHz und 45 kHz, besonders bevorzugt um 40 kHz, liegen. Mit steigender Frequenz sinkt die Baugröße der Komponenten und steigt die mechanische Belastung des Schwingsystems, wobei sich im ausgewählten Frequenzbereich vorteilhafte Größenverhältnisse bei hoher Ausgangsleistung und günstigem Gewicht der Elektrowerkzeugmaschine ergeben.

[0019] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Betriebsspannungseinheit einen elektrochemischen Speicher umfassen, vorzugsweise einen wiederaufladbaren elektrochemischen Speicher. Die Betriebsspannungseinheit hat einen nur geringen Platzbedarf, was für die Kompaktheit und das Gewicht der Elektrowerkzeugmaschine vorteilhaft ist. Günstig sind Systeme auf der Basis von z.B. Lithium-Ionen (Li-Ion) oder auch Nickel-Metallhydrid (NiMeH), Nickel-Cadmium (NiCd) oder auch Blei und dergleichen. Diese können fest im Gehäuse integriert sein und über einen Ladeanschluss nachgeladen werden. Alternativ kann die Betriebsspannungseinheit als Wechsellagersystem ausgebildet sein, mit austauschbaren elektrochemischen Speichern, die gegebenenfalls auch extern wiederaufladbar sein können, und die in eine dafür vorgesehene Aufnahme im oder am Gehäuse eingesteckt werden können. Die Nennspannung der Betriebsspannungseinheit kann je nach Leistungsanforderung z.B. zwischen 3 Volt dc und 48 Volt dc liegen, z.B. bei 12 Volt dc.

[0020] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Betriebsspannungseinheit eine AC/DC-Wandlungseinheit umfassen. In diesem Fall kann auch ein Netzanschluss für die Elektrowerkzeugmaschine vorgesehen sein, und in der Betriebsspannungseinheit kann die Gleichrichtung und Glättung der Netzspannung erfolgen. Zwar benötigt die Aufbereitung der Netzspannung mehr Platz als ein Energiespeicher, der weitere platzsparende und kompakte Aufbau in einem einzigen Gehäuse ermöglicht jedoch weiterhin eine vereinfachte Bedienung und Handhabung der Elektrowerkzeugmaschine.

[0021] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Elektronikeinheit auf einer Platine konzentriert sein. Dies ermöglicht eine besonders platzsparende Anordnung im Gehäuse. Die elektronische Ansteuerung des Anregungsaktors ist besonders kompakt.

[0022] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann zur Signalfilterung und zur induktiven Kompensation des wenigstens einen Anregungsaktors wenigstens eine Induktivität in einem Leistungskreis der Elektronikeinheit, der den wenigstens einen Anregungsaktor mit elektrischer Leistung beaufschlagt, vorgesehen sein. Es kann ein platzsparender Aufbau der Leistungsinduktivitäten in einem einzigen Spulenkern realisiert werden. Die bei Anregungsaktoren günstige Signalfilterung und induktive Kompensation des Piezoaktors kann direkt über eine gezielt eingestellte Streuinduktivität eines sowieso benötigten Übertragungstransformators bereitgestellt bzw. durch eine auf demselben Spulenkern gewickelte Induktivität gegeben werden. Ein zusätzlicher Spulenkern mit einer weiteren Induktivität im Leistungskreis kann dadurch entfallen.

[0023] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann wenigstens Antriebseinheit, Elektronikeinheit und Betriebsspannungseinheit so im Gehäuse verteilt sein, dass ein Masseschwerpunkt im Bereich des Griffteils liegt. Der Bediener kann die Elektrowerkzeugmaschine sicher und bequem handhaben. Die Sicherheit und der Bedienkomfort werden erhöht.

[0024] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Antriebseinheit neben dem wenigstens einen Anregungsaktor mindestens eine weitere Antriebskomponente umfassen. Vorteilhaft kann der Arbeitsbewegung eines durch die mindestens eine weitere Antriebskomponente angetriebenen Werkzeugs eine durch den wenigstens einen Anregungsaktor Bewegung überlagert werden, wodurch der Arbeitsfortschritt erheblich verbessert und die Bearbeitung erleichtert werden kann.

[0025] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann der wenigstens eine Anregungsaktor einen Hauptenergieverbraucher der Elektrowerkzeugmaschine bilden, für den vorzugsweise mindestens 50% elektrische Eingangsleistung vorgesehen sein können. In einer günstigen Weiterbildung kann für den Anregungsaktor mindestens 75%, vorzugsweise mindestens 80% der elektrischen Eingangsleistung vorgesehen sein. Der Arbeitsfortschritt der Elektrowerkzeugmaschine beim Einsatz von Ultraschall ist besonders groß, so dass ein weiterer Energieverbraucher, insbesondere eine weitere Antriebskomponente, wie etwa ein Bohrer, ein Meißel, ein Messer oder dergleichen, kleiner ausgelegt werden kann. Damit kann auch der Antrieb und die zugehörigen Elektronikkomponenten und die Energieversorgung kleiner ausfallen, was wiederum einen verbesserten Bedienkomfort und eine verbesserte Handhabung der gehaltenen Elektrowerkzeugmaschine erlaubt.

[0026] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann eine oder mehrere Betriebsanzeigen für einen aktivierten Zustand des wenigstens einen Anregungsaktors vorgesehen sein. Die Anzeige kann dabei optisch und/oder akustisch und/oder haptisch erfolgen. Die Betriebssicherheit der Elektrowerkzeugmaschine wird erhöht, da klar erkennbar ist, wenn der Anregungsaktor aktiviert ist und mechanische Leistung abgeben

kann.

[0027] Gemäß einer günstigen Weiterbildung der Erfindung kann die Antriebseinheit, welche dem Werkzeug eine Arbeitsbewegung aufprägt, dem Werkzeug Überlagerungsschwingungen aufprägen. Die Antriebseinheit kann als weitere Antriebskomponente beispielsweise einen elektrischen Antriebsmotor aufweisen, der in dem Gehäuse der Elektrowerkzeugmaschine aufgenommen ist. Die Motorwelle ist in der Regel über eine Getriebeeinheit mit einer Werkzeugwelle gekoppelt, die Träger des Werkzeuges ist und die Arbeitsbewegung ausführt. Das Werkzeug ist üblicherweise auswechselbar auf der Werkzeugwelle zu befestigen.

[0028] Die Elektrowerkzeugmaschine kann z.B. zur spanenden Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt werden, wobei zur Verringerung der Spangröße vorteilhaft der Anregungsaktor in der Elektrowerkzeugmaschine angeordnet ist, welcher Überlagerungsschwingungen im Werkzeug erzeugen kann. Diese Überlagerungsschwingungen sind der Arbeitsbewegung des Werkzeugs überlagert.

[0029] Die Überlagerungsschwingungen, welche nicht von dem Antriebsmotor, sondern von dem Anregungsaktor ausgehen, können je nach Art der Elektrowerkzeugmaschine sowie in Abhängigkeit des verwendeten Werkzeuges und des zu bearbeitenden Werkstückmaterials mit einer Frequenz erzeugt werden, die zu einer signifikanten Verringerung der Spangröße führt. Da kleinere Späne auch eine kleinere Wärmekapazität aufweisen, können sich die Späne in einem kürzeren Zeitraum abkühlen, wodurch die Brandgefahr reduziert ist. Außerdem führen die kleineren Späne an sich zu einer reduzierten Verletzungsgefahr, da der von ihnen ausgehende Impuls geringer ist.

[0030] Die Frequenz der Überlagerungsschwingungen liegt zweckmäßigerweise im Ultraschallbereich und kann somit beispielsweise zumindest 20 kHz betragen. Diese verhältnismäßig hohe Frequenz hat zum einen den Vorteil, dass Schwingungen in dieser Größenordnung nicht mehr für den Menschen zu hören sind, so dass keine Lärmbelästigung entsteht. Zum andern hat es sich gezeigt, dass Schwingungen ab dieser Größenordnung besonders wirksam sind, um die Größe der Späne, die bei der Bearbeitung eines Werkstückes entstehen, signifikant zu reduzieren.

[0031] Es kann zweckmäßig sein, Überlagerungsschwingungen zu erzeugen, die in noch erheblich größeren Größenordnungen liegen. Grundsätzlich kommen Schwingungen bis hin in den Megahertzbereich in Betracht. Außerdem ist es auch möglich, Überlagerungsschwingungen mit niedrigerer Frequenz zu generieren.

[0032] Auf Grund der Überlagerung zu der Arbeitsbewegung des Werkzeugs einerseits sowie der in der Regel deutlich höheren Frequenz bleibt das Erzeugen der Überlagerungsschwingungen ohne Einfluss auf die Arbeitsbewegung und damit auf das Ergebnis der Werkstückbearbeitung. Zudem weisen die Überlagerungsschwingungen üblicherweise nur eine sehr geringe Am-

plitude auf, so dass die Bearbeitung des Werkstückes nicht beeinträchtigt ist.

[0033] Die vorteilhafte Generierung von Überlagerungsschwingungen im Werkzeug kann sowohl bei rotatorischen als auch bei translatorischen bzw. gemischt rotatorischtranslatorischen Arbeitsbewegungen des Werkzeugs eingesetzt werden. Gemäß einer günstigen Ausführung ist die Elektrowerkzeugmaschine als Schleifgerät, beispielsweise als Winkelschleifer ausgebildet, die als Werkzeug eine an einer Werkzeugwelle gelagerte Schleifscheibe aufweist, wobei in diesem Fall die Werkzeugbewegung eine ausschließliche Rotationsbewegung ist. In Betracht kommen aber auch translatorische Bewegungen, beispielsweise bei Hubsägen, die eine oszillierende Hubbewegung ausführen.

[0034] Die Überlagerungsschwingungen können gemäß einer vorteilhaften Ausführung orthogonal zur Bewegungsebene des Werkzeugs angeregt werden, in der die Arbeitsbewegung stattfindet. Beispielsweise können bei Schleifscheiben die Überlagerungsschwingungen in Richtung der die Schleifscheibe tragenden Werkzeugwelle aufgebracht werden. Bei einer translatorischen Arbeitsbewegung erfolgt dagegen die Überlagerungsschwingung senkrecht zur Translationsbewegung.

[0035] Gemäß einer weiteren zweckmäßigen Ausführung ist es aber auch möglich, dass die Überlagerungsschwingungen das Werkzeug in der Bewegungsebene anregen. Im Falle einer Schleifscheibe bedeutet dies, dass die Schleifscheibe senkrecht zur Werkzeugwelle angeregt wird, so dass der Vektor der Anregung in der Bewegungsebene der Schleifscheibe liegt.

[0036] Des Weiteren kann es zweckmäßig sein, die von dem Anregungsaktor ausgehenden Überlagerungsschwingungen auf ein Lager des Werkzeugs wirken zu lassen, wobei die Schwingungen sich über das Lager auch auf das Werkzeug ausbreiten. Im Falle von mehreren Lagern erfolgt dies vorzugsweise über das werkzeugnahe Lager, um eine Belastung der Getriebeeinheit sowie des Antriebsmotors durch die Überlagerungsschwingungen zu vermeiden.

[0037] Gemäß der Erfindung ist das anregungsaktive Material piezoelektrisch.

[0038] Gemäß einer vorteilhaften Ausführung kann vorgesehen sein, dass der Anregungsaktor als Langevin-Schwinger mit eingespannten Piezoelementen ausgebildet ist, das durch Anlegen einer Spannung seine Ausdehnung ändert. Durch eine entsprechend hochfrequente Spannungsbeaufschlagung kann sich das Piezoelement in der gewünschten Frequenz der Überlagerungsschwingungen ausdehnen und zusammenziehen, wobei der Anregungsaktor mit einem Bauteil in der Kraftübertragungskette zwischen Antriebseinheit bzw. Antriebsmotor und Werkzeug gekoppelt ist, so dass sich die Schwingungen des Anregungsaktors bis in das Werkzeug ausbreiten können. Wie bereits zuvor beschrieben, erfolgt die Anregung vorzugsweise über ein Lager der Werkzeugwelle, die das Werkzeug trägt. Gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausführung ist vorgesehen,

dass der Anregungsaktor als magnetorestriktiver Anregungsaktor ausgebildet ist, was sich insbesondere zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen eignet.

Zeichnung

[0039] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Zeichnung, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0040] Es zeigen beispielhaft:

- Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine in einer Ausgestaltung als Schneidgerät;
- Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine in einer Ausgestaltung als Bohrgerät;
- Fig. 3a, 3b eine Prinzipskizze einer Ansteuerung mit einer Wechselspannungsversorgung mit Netzstrom oder einer Gleichspannungsversorgung mit einem Batteriepack (Fig. 3a) und eine günstige Taktung zur Verminderung der Baugröße einer Filtereinheit (Fig. 3b);
- Fig. 4 einen Verlauf einer Ultraschallamplitude entlang einer Sonotrode;
- Fig. 5 eine Impedanzkennlinie zum Nachweis einer Resonanzfrequenz eines Anregungsaktors;
- Fig. 6 ein Ersatzschaltbild eines idealen Transformators;
- Fig. 7 eine als Winkelschleifer ausgebildete elektrische Elektrowerkzeugmaschine im Schnitt;
- Fig. 8 in Einzeldarstellung die auf einer Werkzeugwelle angeordnete Schleifscheibe des Winkelschleifers aus Fig. 7, wobei die Werkzeugwelle in Lagern aufgenommen ist und das werkzeugnahe Lager von einem Anregungsaktor quer zur Wellenachse mit hochfrequenten Schwingungen beaufschlagt ist;
- Fig. 9 die Schleifscheibe aus Fig. 8 mit Lager und Anregungsaktor in einer Draufsicht; und
- Fig. 10 ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem der Anregungsaktor die die Schleifscheibe tragende Werkzeugwelle in Achslängsrichtung mit hochfrequenten Schwingungen beaufschlagt.

Ausführungsformen der Erfindung

[0041] In den Figuren sind gleiche oder gleichartige Komponenten mit gleichen Bezugszeichen beziffert.

[0042] Zur Erläuterung der Erfindung zeigen die Figuren 1 und 2 verschiedene Beispiele von handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschinen 10. Fig. 1 zeigt ein Schneidgerät mit langgestreckter Gehäuseform; Fig. 2 zeigt ein Bohrgerät mit T-förmiger Gehäuseform.

[0043] Die handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine 10 umfasst ein Gehäuse 20 mit einem Griffbereich 40. Ein Bediener hält die Elektrowerkzeugmaschine 10 an dem Griffbereich 40 und kann die Elektrowerkzeugmaschine 10 führen. Der Griffbereich 40 kann gegebenenfalls mit einem nicht dargestellten Dämpfungselement gegenüber anderen Gehäusebereichen entkoppelt sein. Die Elektrowerkzeugmaschine 10 umfasst ferner einen Werkzeubbereich 50 für ein linear und/oder oszillierend antreibbares Werkzeug 60, etwa ein Messer (Fig. 1) oder einen Bohrer (Fig. 2) oder ein anderes Werkzeug entsprechend einem anderen Gerätetyp.

[0044] Ein gehäusesseitiges Bedienteil 30 dient zur benutzerseitigen Aktivierung des Werkzeugs 60 und/oder der Elektrowerkzeugmaschine 10. Das Bedienteil 30 kann z.B. ein Schalter oder ein Regler sein oder auch mehrere Bedienelemente umfassen, von denen z.B. eines zum Einschalten der Elektrowerkzeugmaschine 10 und eines zum Einschalten und/oder Regeln des Werkzeugs 60 vorgesehen sein kann.

[0045] Im Gehäuse 20 ist eine Antriebseinheit 80 angeordnet, die in den Beispielen gemäß Fig. 1 und Fig. 2 nur eine Antriebskomponente umfasst, die durch einen Anregungsaktor 100 gebildet ist. Dieser ist als Piezoangeregter Langevin-Schwinger (auch Piezoaktor genannt) ausgebildet, der ein Volumen piezoelektrisch aktiven Materials 102 umfasst, z.B. piezokeramische Scheiben, die zusammengepresst sind und die bei Beaufschlagung mit elektrischer Spannung eine Längenänderung durchführen. Bei Beaufschlagung mit hochfrequenter elektrischer Spannung wird in an sich bekannter Weise Ultraschall generiert, der über einen Koppelement 106 zu einem Werkzeug 60 geleitet wird. Das Koppelement 106 kann eine an sich bekannte Sonotrode sein. Die Länge und die Form wie auch das Material des Koppelements 106 bestimmen eine Resonanzfrequenz des Anregungsaktors 100. Auch das Werkzeug 60 kann die Resonanzfrequenz beeinflussen. In den Ausführungsvarianten in Fig. 1 und Fig. 2 ist der Anregungsaktor 100 so ausgeführt, dass Langevin-Schwinger und Koppelement 106 in einer Einheit zusammengefasst sind, und deren gesamte Länge in etwa der halben Wellenlänge $\lambda/2$ der Ultraschallschwingung entspricht. Andere Ausführungsvarianten können vorsehen, dass der Anregungsaktor 100 zusammengesetzt ist aus mehreren Komponenten mit der Länge $\lambda/2$. Dies können sein: Schwingungserzeuger, bekannt als Konverter, im speziellen z.B. ein Langevin-Schwinger, Amplitudentransformationsstücke 104 bekannt als Booster, ggf. Verlänger-

rungsstücke, sowie dem Koppellement 106 bekannt als Sonotrode.

[0046] Eine im Gehäuse 20 angeordnete Elektronik-
einheit 200 dient zum Beaufschlagen der Antriebseinheit
80 mit wenigstens Steuer- und/oder Regelsignalen, so-
wie der Spannungsversorgung des Anregungsaktors
100. Eine Betriebsspannungseinheit 90, hier als Batterie-
oder Akkupack mit Batterien oder wiederaufladbaren Ak-
kus 92 ausgebildet, dient zur Bereitstellung einer elektri-
schen Gleichspannung für die Elektronikereinheit 90, wel-
che die Betriebsspannung in ein hochfrequentes Span-
nungssignal umsetzt, mit dem der Anregungsaktor 100
in gewünschter Weise zu Schwingungen angeregt wird.

[0047] Die Elektronikereinheit 200 ist ausgebildet, um
den wenigstens einen Anregungsaktor 100 in einer Re-
sonanzfrequenz f_{res} zu betreiben. Dabei umfasst die
Elektronikereinheit 200 eine Regeleinheit 224 zur Nach-
führung der Resonanzfrequenz f_{res} des Anregungsak-
tors 100. Die Regeleinheit 224 kann eine Phasenregel-
kette umfassen, die den Anregungsaktor 100 in dessen
Resonanzfrequenz anregen kann, wobei eine Phasen-
verschiebung zwischen dem eingespeisten Strom und
der eingespeisten Spannung auf 0° eingestellt wird. Vor-
zugsweise wird die Resonanzfrequenz f_{res} nachgere-
gelt, wenn sich aufgrund von Erwärmung oder Lastwech-
sel am Werkzeug die Resonanzfrequenz ändert. Altern-
ativ kann auch eine Frequenznachführung erfolgen, in-
dem auf ein Maximum des in den Anregungsaktor 100
eingespeisten Stroms geregelt wird.

[0048] Das Volumen des piezoelektrisch aktiven Ma-
terials 102, z.B. aufeinandergestapelte piezoelektrische
Scheiben, beträgt mindestens $0,2 \text{ cm}^3$, vorzugsweise $0,5 \text{ cm}^3$,
insbesondere mindestens 1 cm^3 . Der Anregungs-
aktor 100 weist eine Leistungsdichte von mindestens 5 Watt/cm^3 ,
vorzugsweise von mindestens 20 Watt/cm^3 ,
bezogen auf das Volumen des piezoelektrisch aktiven
Materials 102 des Anregungsaktors 100 auf. Die Lei-
stungsdichte ermöglicht einen Einsatz in einer handge-
haltenen Elektrowerkzeugmaschine 10 mit ausreichen-
der Leistungsabgabe des Werkzeugs 60.

[0049] Die Aktivierung des Werkzeugs 60 durch den
Aktivierungsaktor 30 kann mit einem Signalmittel 122
(Fig. 2) angezeigt werden.

[0050] In Fig. 1 ist die Elektronikereinheit 200 besonders
platzsparend auf einer einzigen Platine 210 integriert. In
Fig. 2 ist die Elektronikereinheit auf zwei Platinen 212, 214
aufgeteilt, wobei eine im Hauptteil und eine im quer vom
Hauptteil abstehenden Griffteil des T-förmigen Gehäus-
ses 20 angeordnet ist. Vorteilhaft sind Antriebseinheit
80, Elektronikereinheit 200 und Betriebsspannungseinheit
90 so im Gehäuse 20 verteilt, dass ein Masseschwer-
punkt im Bereich des Griffteils 40 liegt.

[0051] Fig. 3a zeigt eine Prinzipskizze einer Ansteue-
rung des Anregungsaktors 100, in Form eines Piezoak-
tors 100, mit einer Wechselfspannungsversorgung aus
einem Versorgungsnetz oder einer Gleichspannungs-
versorgung mit einem Batteriepack.

[0052] Bei Netzversorgung der Elektronikereinheit 200,

z.B. mit 220 Volt ac, ist eine Baugruppe 94 vorgesehen,
welche die Wechselfspannung gleichrichtet und glättet.
Die Elektronikereinheit 200 umfasst eine Leistungserzeu-
gungseinheit 222, in die die Gleichspannung eingespeist
wird und die über eine entsprechende Filtereinheit 226
an den Anregungsaktor 100 gekoppelt ist. Eine Regel-
einheit 224 stellt die Regelsignale für den Anregungsak-
tor 100 bereit. Die Betriebsfrequenz des Anregungsak-
tors 100 liegt im Bereich zwischen 10 kHz und 1000 kHz,
vorzugsweise zwischen 30 kHz und 50 kHz, insbeson-
dere zwischen 35 kHz und 45 kHz, besonders bevorzugt
um etwa 40 kHz.

[0053] Erfolgt die Versorgung durch die Betriebsspan-
nungseinheit 90 mittels Batterien oder Akkus 92, kann
der Platzbedarf verringert werden, da die Baugruppe 94
zur Gleichrichtung und Glättung entfallen kann. Die elek-
trische Ausgangsspannung der Betriebsspannungsein-
heit 90 liegt vorzugsweise unterhalb von 100 Volt, etwa
bei 36 Volt oder 10,8 Volt.

[0054] Bevorzugt liegt die maximale elektrische Anre-
gungsfeldstärke des wenigstens einen Anregungsaktors
im Bereich unterhalb von 300 V/mm (bezogen auf die
Dicke, insbesondere Scheibendicke, des piezoelektrisch
aktiven Materials), vorzugsweise im Bereich zwischen
50 V/mm und 220 V/mm. Bei einer Scheibendicke des
Anregungsaktors 100 von typischerweise 1 mm bis 10
mm, vorzugsweise 2 mm bis 6 mm, insbesondere um 5
mm liegen die elektrische Spannungen bei unter 1000
Volt

[0055] In einer Ausführungsvariante kann die Lei-
istungserzeugungseinheit 222 mittels 4 MOSFET Halb-
leitern in einer an sich bekannten Vollbrückentopologie
ausgeführt sein. In einer weiteren Variante kann die Er-
zeugung des Betriebssignals auch durch eine Halbbrük-
ke (ebenfalls bekannt) mit z.B. einem Mittelpunktskon-
densator zur Filterung des DC Anteils erfolgen.

[0056] Fig. 3b illustriert wie erfindungsgemäß die Bau-
größe der Filtereinheit 226 möglichst klein gestaltet wer-
den kann. Dazu wird die Leistungseinheit 222 von der
Regeleinheit 224 so angesteuert, dass diese mittels einer
Sinus-Dreieck-Modulation anstatt einfachen Rechteck-
signalen eine sinusähnliche Rechteckspannung erzeugt.
Je nach Höhe der Taktung, also der Anzahl der Einzel-
pulse, die Zusammen einen Sinus abbilden, kann der
Gehalt an unerwünschten harmonischen Oberfrequen-
zen deutlich reduziert werden was zu einer kleineren
Auslegung der Filtereinheit 226 führt. Hierzu ist die An-
zahl der Rechteckimpulse pro Periodendauer des Sinus-
signals größer als 6, vorzugsweise in einem Bereich zw-
ischen 6 und 100 insbesondere in einem Bereich zw-
ischen 10 und 26. In einer Ausführungsvariante kann die
Anzahl und Breite der Rechteckimpulse von der Regel-
einheit 224 z.B. bei Laständerungen auch während des
Betriebes verändert werden.

[0057] Fig. 4. zeigt einen Verlauf einer Ultraschallam-
plitude entlang eines als Piezoaktors ausgebildeten An-
regungsaktors 100. Das Koppellement 106 ist als So-
notrode ausgebildet. Der an das piezoelektrische Mate-

rial 102 angrenzende Bereich des Anregungsaktor 100 wird zusammen mit den Piezoscheiben 102 als Konverter bezeichnet. Das piezoelektrische Material 102 wird durch die eingespeiste hochfrequente Wechselspannung zu Schwingungen angeregt, die über den Konverter in das Koppellement 102 übertragen werden. Bei einem wie in Fig. 4 gezeigten dreistufigen Aufbau des Anregungsaktors 100 besteht dieser zusätzlich aus einem Booster 104 zur Amplitudenanpassung. Entlang der Längserstreckung M des Anregungsaktors 100 nimmt im Mittel die Amplitude Amp der angeregten Schwingung zu. Veränderungen der Resonanzfrequenz f_{res} des Schwingungssystems des Anregungsaktors 100 (gegebenenfalls mit angekoppeltem Werkzeug) im Betrieb werden ausgeglichen, z.B. mit einer bereits oben erwähnten Phasenregelkette, mit der die Phasenverschiebung zwischen der zur Anregung des Anregungsaktors 100 in diesen eingespeisten elektrischen Spannung und dem eingespeisten elektrischen Strom auf null geregelt wird (Phasen-Null-Regelung), oder mit einer Maximumregelung des in den Anregungsaktor 100 eingespeisten elektrischen Strom.

[0058] Fig. 5 zeigt eine Impedanzkennlinie eines piezoaktorisch ausgeführten Anregungsaktors mit den Resonanzfrequenzen f_{res} und $f_{\text{res}2}$. Kennlinie A zeigt einen Verlauf der Impedanz Imp als Funktion der Frequenz f , die bei der Resonanzfrequenz f_{res} ein Impedanzminimum und bei $f_{\text{res}2}$ ein Impedanzmaximum durchläuft. Die Frequenz f_{res} wird als Serienresonanz, $f_{\text{res}2}$ als Parallelresonanz bezeichnet..

[0059] Kurve B zeigt den Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, die bei der Resonanzfrequenz einen Nulldurchgang hat und von -90° unterhalb der Resonanzfrequenz f_{res} auf $+90^\circ$ oberhalb der Resonanzfrequenz f_{res} ändert. Bei Durchschreiten der Parallelresonanz $f_{\text{res}2}$ ändert sich die Phasenverschiebung von $+90^\circ$ unterhalb der Resonanzfrequenz auf -90° oberhalb der Resonanzfrequenz.

[0060] Zur Signalfilterung und zur induktiven Kompensation des wenigstens einen Anregungsaktors 100 kann wenigstens eine Induktivität in einem Leistungskreis der Elektronikeinheit, der den wenigstens einen Anregungsaktor 100 mit elektrischer Leistung beaufschlagt, vorgesehen sein. Es kann ein platzsparender Aufbau der Leistungsinduktivitäten zusammen mit dem Übertragungstransformator in einem einzigen Spulenkern realisiert werden. Die bei Anregungsaktoren 100 günstige Signalfilterung und induktive Kompensation des Piezoaktors kann direkt über eine gezielt eingestellte Streuinduktivität eines sowieso benötigten Übertragungstransformators bereitgestellt bzw. durch eine auf demselben Spulenkern gewickelte Induktivität gegeben werden. Ein zusätzlicher Spulenkern mit einer weiteren Induktivität im Leistungskreis kann dadurch entfallen.

[0061] Fig. 6 zeigt hierzu zur Erläuterung ein Ersatzschaltbild mit einem idealen Transformator. Die Induktivität M dient der eigentlichen Übertragung von Primärseite zu Sekundärseite. Die Streuinduktivitäten entste-

hen, da die Wicklungen nie ideal gekoppelt werden können. L1 und L2 bilden den Teil des Magnetfelds ab, der nicht von der Sekundärspule "eingefangen" werden kann. L1 und L2 sind elektrisch wie eine Luftspule anzusehen.

[0062] Die in Fig. 7 dargestellte als Winkelschleifer dargestellte Elektrowerkzeugmaschine 10 umfasst ein Gehäuse 20, welches aus einem Motorgehäuse 22 und einem Griffgehäuse 24 besteht, wobei zwischen Motorgehäuse 22 und Griffgehäuse 24 ein Dämpfungselement 26 angeordnet ist. Die Elektrowerkzeugmaschine 10 wird am Griffgehäuse 24 gehalten, welches den Griffbereich 40 bildet. Im Motorgehäuse 22 ist eine Antriebseinheit 80 mit einer als elektrischem Antriebsmotor 82 ausgebildeten Antriebskomponente aufgenommen, die über eine Getriebeeinheit 62 mit einer Werkzeugwelle 64 gekoppelt ist und diese antreibt. Die Werkzeugwelle 64 ist Träger eines als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeugs 60, die austauschbar an der Werkzeugwelle 64 befestigt ist.

[0063] In Fig. 8 ist die Werkzeugwelle 64 und das daran befestigte, als Schleifscheibe ausgebildete Werkzeug 60 in Einzeldarstellung gezeigt. Die Werkzeugwelle 64, die die Längsachse L aufweist, ist in Lagern 70 und 72 drehbar gelagert, die zueinander beabstandet im Gehäuse 20 angeordnet sind. Auf der der Schleifscheibe gegenüberliegenden Stirnseite befindet sich an der Werkzeugwelle 64 ein Kegelrad 74, über das die Werkzeugwelle 64 von dem elektrischen Antriebsmotor 82 angetrieben wird.

[0064] Um die Größe der Späne zu verringern, die bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit dem als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeug 60 anfallen, wird das als Schleifscheibe ausgebildete Werkzeug 60 zusätzlich zu ihrer rotatorischen Arbeitsbewegung in hochfrequente Schwingungen versetzt. Es handelt sich hierbei um Überlagerungsschwingungen, die der Arbeitsbewegung des als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeugs 60 überlagert werden. Diese Überlagerungsschwingungen werden mithilfe des Anregungsaktors 100 erzeugt, der als weitere Antriebskomponente der Antriebseinheit 80 ebenfalls im Gehäuse 10 der handgehaltenen Elektrowerkzeugmaschine 10 angeordnet ist und direkt oder indirekt das als Schleifscheibe ausgebildete Werkzeug 60 zu den Überlagerungsschwingungen anregt. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 beaufschlagt der Anregungsaktor 100 das werkzeugseitige Lager 70 der Werkzeugwelle 64 und erzeugt Überlagerungsschwingungen, die orthogonal zur Längsachse L der Werkzeugwelle 64 gerichtet sind. Diese orthogonal zur Längsachse L gerichteten Überlagerungsschwingungen übertragen sich über die Werkzeugwelle 64 auch auf das als Schleifscheibe ausgebildete Werkzeug 60, das ebenfalls orthogonal zur Längsachse L und damit in ihrer Bewegungsebene Überlagerungsschwingungen ausübt.

[0065] Grundsätzlich ist es auch möglich, den Anregungsaktor 100 an einer anderen Stelle zu positionieren, beispielsweise am werkzeugfernen Lager 72 oder unmittel-

telbar an einer Position an der Werkzeugwelle 64 oder an dem als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeug 60, um dieses direkt mit Überlagerungsschwingungen zu beaufschlagen.

[0066] Erfindungsgemäß wird als Anregungsaktor 100 ein Piezoelement verwendet, dessen Länge sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung ändert. Da Piezoelemente sehr schnell auf Spannungsänderungen reagieren, kann durch das Anlegen einer hochfrequenten Spannung eine entsprechend schnelle Längenänderung in dem Anregungsaktor erzeugt werden, die sich auf das hier beispielhaft als Schleifscheibe ausgebildete Werkzeug 60 auswirkt.

[0067] In einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform kann der Anregungsaktor 100 auch als magnetoresistiver Aktor ausgebildet sein, bei dem durch Anlegen eines äußeren Magnetfeldes der elektrische Widerstand geändert werden kann.

[0068] Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 und 9 werden die Überlagerungsschwingungen in Pfeilrichtung 110 orthogonal zur Längsachse L der Werkzeugwelle 64 bzw. des als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeugs 60 erzeugt. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 10 erfolgt dagegen die Anregung mit den Überlagerungsschwingungen gemäß Pfeilrichtung 110 in Richtung der Längsachse L von Werkzeugwelle 64 und Werkzeug 60 und damit senkrecht zur Bewegungsebene des als Schleifscheibe ausgebildeten Werkzeugs 60. Der Anregungsaktor 100, über den die Überlagerungsschwingungen generiert werden, beaufschlagt entweder unmittelbar die Werkzeugwelle 64 oder eines bzw. beide Lager 70 bzw. 72 oder unmittelbar das Werkzeug 60 mit den Überlagerungsschwingungen in Achsrichtung.

Patentansprüche

1. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine (10) umfassend

- ein Gehäuse (20) mit einem Griffbereich (40),
- einen Werkzeugbereich (50) für ein linear und/oder oszillierend antreibbares Werkzeug (60),
- ein gehäuseseitiges Bedienteil (30) zur benutzerseitigen Aktivierung des Werkzeugs (60) und/oder der Elektrowerkzeugmaschine (10),
- eine im Gehäuse (20) angeordnete Antriebseinheit (80) zur Erzeugung einer Arbeitsbewegung des Werkzeugs (60),
- eine im Gehäuse (20) angeordnete Elektronikeinheit (200) zum Beaufschlagen der Antriebseinheit (80) mit wenigstens Steuer- und/oder Regelsignalen, und
- eine Betriebsspannungseinheit (90) zur Bereitstellung einer elektrischen Gleichspannung,

wobei die Antriebseinheit (80) wenigstens einen Anregungsaktor (100) mit einem Volumen anregungs-

aktiven Materials umfasst, welcher

- im Betrieb von der Betriebsspannungseinheit (90) elektrisch versorgt ist, und
- von der Elektronikeinheit (200) gesteuert oder geregelt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektronikeinheit (200) ausgebildet ist, um den wenigstens einen Anregungsaktor (100) in einer Resonanzfrequenz (f_{res}) zu betreiben,

dass das anregungsaktive Material piezoelektrisch ist, wobei das Volumen des piezoelektrischen Materials mindestens $0,2 \text{ cm}^3$ beträgt,

dass der wenigstens eine Anregungsaktor (100) eine Leistungsdichte von mindestens 5 Watt/cm^3 aufweist, bezogen auf das Volumen des piezoelektrisch aktiven Materials (102) des wenigstens einen Anregungsaktors (100), und

dass die Elektronikeinheit (200) eine Regeleinheit (224) mit Frequenzanpassung zur Nachführung der Resonanzfrequenz (f_{res}) des wenigstens einen Anregungsaktors (100) umfasst, welche Regeleinheit (224) eine Leistungserzeugungseinheit (222) der Elektronikeinheit (200) derart ansteuert, dass die Leistungserzeugungseinheit (222) mittels einer Sinus-Dreieck-Modulation eine sinusähnliche Rechteckspannung erzeugt, wobei die Anzahl von Rechteckimpulsen pro Periodendauer des Sinussignals größer als 6 ist.

2. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der Rechteckimpulse pro Periodendauer des Sinussignals in einem Bereich zwischen 10 und 100 liegt, vorzugsweise zwischen 10 und 26.

3. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen des piezoelektrischen Materials mindestens $0,5 \text{ cm}^3$, insbesondere mindestens 1 cm^3 , beträgt.

4. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Anregungsaktor (100) eine Leistungsdichte von mindestens 20 Watt/cm^3 , bezogen auf das Volumen des piezoelektrisch aktiven Materials (102) des wenigstens einen Anregungsaktors (100) aufweist.

5. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Anregungsaktor an der Werkzeugspitze eine Schwingamplitude von mindestens $3 \text{ }\mu\text{m}$, vorzugsweise mindestens $8 \text{ }\mu\text{m}$, insbesondere mindestens $12 \text{ }\mu\text{m}$ aufweist.

6. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eingangsseitig der Elektronikeinheit (200) eine elektrische Leistung zur Beaufschlagung des wenigstens einen Anregungsaktors (100) mindestens 20 Watt beträgt.
7. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Scheibendicke des Anregungsaktors typischerweise 1 mm bis 10 mm, vorzugsweise 2 mm bis 6 mm, insbesondere um 5 mm beträgt.
8. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Eingangsfeldstärke des wenigstens einen Anregungsaktors (100) im Bereich von 300 V/mm liegt, bezogen auf eine Dicke, insbesondere eine Scheibendicke, des piezoelektrisch aktiven Materials, vorzugsweise im Bereich zwischen 50 V/mm und 220 V/mm.
9. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Eingangsspannung des wenigstens einen Anregungsaktors (100) im Bereich unterhalb von 1000 Volt liegt, vorzugsweise im Bereich zwischen 300 Volt und 700 Volt
10. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine elektrische Ausgangsspannung der Betriebsspannungseinheit (90) unterhalb von 100 Volt liegt.
11. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine elektrische Ausgangsspannung der Betriebsspannungseinheit (90) oberhalb von 100 Volt liegt
12. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Betriebsfrequenz des wenigstens einen Anregungsaktors (100) im Bereich zwischen 10 kHz und 1000 kHz, vorzugsweise zwischen 30 kHz und 50 kHz, insbesondere zwischen 35 kHz und 45 kHz, liegt
13. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Betriebsspannungseinheit (90) einen elektrochemischen Speicher (92) umfasst, vorzugsweise einen wiederaufladbaren elektrochemischen Speicher (92).
14. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Betriebsspannungseinheit (90) einen Gleichrichter (94) umfasst.
15. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektronikeinheit (200) auf einer Platine (210) konzentriert ist.
16. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Signalfilterung und/oder zur induktiven Kompensation des wenigstens einen Anregungsaktors (100) wenigstens eine Induktivität in einem Leistungskreis der Elektronikeinheit (200), der den wenigstens einen Anregungsaktor (100) mit elektrischer Leistung beaufschlagt, vorgesehen ist.
17. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens Antriebseinheit (80), Elektronikeinheit (200) und Betriebsspannungseinheit (90) so im Gehäuse (20) verteilt sind, dass ein Masseschwerpunkt im Bereich des Griffteils (40) liegt.
18. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antriebseinheit (80) neben dem wenigstens einen Anregungsaktor (100) mindestens eine weitere Antriebskomponente umfasst.
19. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens einen Anregungsaktor (100) einen Hauptenergieverbraucher der Elektrowerkzeugmaschine (10) bildet, für den vorzugsweise mindestens 50% elektrische Eingangsleistung vorgesehen sind.
20. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine oder mehrere optische und/oder akustische und/oder haptische Betriebsabzeigen (120, 122) für einen aktivierten Zustand des wenigstens einen Anregungsaktors (100) vorgesehen sind.
21. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Arbeitsfeldbeleuchtung vorgesehen ist.
22. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anregungsaktor (100) zur Erzeugung von Überlagerungsschwingungen im Werkzeug (60) vorgesehen ist, die einer Arbeitsbe-

wegung des Werkzeugs (60) überlagert sind.

23. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (60) drehbar gelagert ist und die Arbeitsbewegung des Werkzeugs (60) eine Rotationsbewegung ist. 5
24. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (60) eine Schleifscheibe ist. 10
25. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Überlagerungsschwingungen das Werkzeug (60) in wenigstens einer der folgenden Richtungen anregen 15
 - orthogonal zur Bewegungsebene des Werkzeugs (60), in der die Arbeitsbewegung des Werkzeugs (60) stattfindet; 20
 - in Richtung der Längsachse (L) einer das Werkzeug (60) tragenden Werkzeugwelle (64);
 - in der Bewegungsebene, in der die Arbeitsbewegung des Werkzeugs (60) stattfindet; und/oder 25
 - senkrecht zur Werkzeugwelle (64).
26. Handgehaltene Elektrowerkzeugmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anregungsaktor (100) auf ein Lager (70, 72) des Werkzeugs (60) wirkt. 30

Claims

1. Hand-held electric power tool (10) comprising 35
 - a housing (20) having a handle region (40), 40
 - a tool region (50) for a tool (60) which can be driven in a linear and/or oscillating manner,
 - a housing-side operator control part (30) for user activation of the tool (60) and/or the electric power tool (10),
 - a drive unit (80), which is arranged in the housing (20), for generating a working movement of the tool (60), 45
 - an electronics unit (200), which is arranged in the housing (20), for supplying at least open-loop and/or closed-loop control signals to the drive unit (80), and 50
 - an operating voltage unit (90) for providing an electrical DC voltage,

wherein the drive unit (80) comprises at least one excitation actuator (100) having a volume of excitation-active material, which excitation actuator 55

- is supplied with electrical power by the operating voltage unit (90) during operation, and
- is subjected to open-loop or closed-loop control by the electronics unit (200),

characterized in that the electronics unit (200) is designed to operate the at least one excitation actuator (100) at a resonant frequency (f_{res}), **in that** the excitation-active material is piezoelectric, wherein the volume of the piezoelectric material is at least 0.2 cm^3 , **in that** the at least one excitation actuator (100) has a power density of at least 5 Watt/cm^3 , based on the volume of the piezoelectrically active material (102) of the at least one excitation actuator (100), and **in that** the electronics unit (200) comprises a closed-loop control unit (224) with frequency matching for tracking the resonant frequency (f_{res}) of the at least one excitation actuator (100), which closed-loop control unit (224) actuates a power-generating unit (222) of the electronics unit (200) in such a way that the power-generating unit (222) generates a sinusoidal square-wave voltage by means of sine-delta modulation, wherein the number of square-wave pulses per period duration of the sinusoidal signal is greater than 6.

2. Hand-held electric power tool according to Claim 1, **characterized in that** the number of square-wave pulses per period duration of the sinusoidal signal is in a range of between 10 and 100, preferably between 10 and 26.
3. Hand-held electric power tool according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the volume of the piezoelectric material is at least 0.5 cm^3 , in particular at least 1 cm^3 . 35
4. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one excitation actuator (100) has a power density of at least 20 Watt/cm^3 , based on the volume of the piezoelectrically active material (102) of the at least one excitation actuator (100). 40
5. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one excitation actuator has an oscillation amplitude of at least $3 \text{ }\mu\text{m}$, preferably at least $8 \text{ }\mu\text{m}$, in particular at least $12 \text{ }\mu\text{m}$, at the tip of the tool. 45
6. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** an electrical power for acting on the at least one excitation actuator (100) is at least 20 watts at the input end of the electronics unit (200). 50
7. Hand-held electric power tool according to one of

the preceding claims, **characterized in that** a disc thickness of the excitation actuator is typically 1 mm to 10 mm, preferably 2 mm to 6 mm, in particular is 5 mm.

8. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** an input field strength of the at least one excitation actuator (100) is in the region of 300 V/mm, based on a thickness, in particular a disc thickness, of the piezoelectrically active material, preferably in the range of between 50 V/mm and 220 V/mm.
9. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** an input voltage of the at least one excitation actuator (100) is in the region of below 1000 volts, preferably in the range of between 300 volts and 700 volts.
10. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** an electrical output voltage of the operating voltage unit (90) is below 100 volts.
11. Hand-held electric power tool according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** an electrical output voltage of the operating voltage unit (90) is above 100 volts.
12. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the operating frequency of the at least one excitation actuator (100) is in the range of between 10 kHz and 1000 kHz, preferably between 30 kHz and 50 kHz, in particular between 35 kHz and 45 kHz.
13. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the operating voltage unit (90) comprises an electrochemical storage means (92), preferably a rechargeable electrochemical storage means (92).
14. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the operating voltage unit (90) comprises a rectifier (94).
15. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electronics unit (200) is concentrated on a printed circuit board (210).
16. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least one inductance is provided in a power circuit of the electronics unit (200), which power circuit supplies electrical power to the at least one excitation actuator (100), for signal filtering and/or for inductive compensation of the at least one excitation actuator

(100).

17. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least the drive unit (80), the electronics unit (200) and the operating voltage unit (90) are distributed in the housing (20) such that a centre of gravity lies in the region of the handle part (14).
18. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the drive unit (80) comprises at least one further drive component in addition to the at least one excitation actuator (100).
19. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one excitation actuator (100) forms a main energy consumer of the electric power tool (10), preferably at least 50% of the electrical input power being provided for the said main energy consumer.
20. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** one or more optical and/or acoustic and/or haptic operating indicators (120, 122) are provided for an activated state of the at least one excitation actuator (100).
21. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** operating panel illumination is provided.
22. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the excitation actuator (100) is provided for generating superimposition oscillations in the tool (60), these being superimposed on a working movement of the tool (60).
23. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the tool (60) is rotatably mounted and the working movement of the tool (60) is a rotary movement.
24. Hand-held electric power tool according to Claim 18, **characterized in that** the tool (60) is a grinding wheel.
25. Hand-held electric power tool according to one of Claims 17 to 19, **characterized in that** the superimposition oscillations excite the tool (60) in at least one of the following directions
 - orthogonally to the movement plane of the tool (60) in which the working movement of the tool (60) takes place;
 - in the direction of the longitudinal axis (L) of a tool shaft (64) which supports the tool (60);

- in the movement plane in which the working movement of the tool (60) takes place; and/or
- perpendicular to the tool shaft (64).

26. Hand-held electric power tool according to one of the preceding claims, **characterized in that** the excitation actuator (100) acts on a bearing (70, 72) of the tool (60).

Revendications

1. Machine-outil électrique manuelle (10) comportant :

un boîtier (20) doté d'une partie de saisie (40),
une partie d'outil (50) prévue pour un outil (60) qui peut être entraîné linéairement et/ou en oscillation,
une partie de commande (30) située du côté du boîtier et permettant à l'utilisateur d'activer l'outil (60) et/ou la machine-outil électrique (10),
une unité d'entraînement (80) disposée dans le boîtier (20) et qui produit un déplacement de travail de l'outil (60),
une unité électronique (200) disposée dans le boîtier (20) et qui applique sur l'unité d'entraînement (80) au moins des signaux de commande et/ou de régulation et
une unité (90) de tension de service qui délivre une tension électrique continue,
l'unité d'entraînement (80) comportant au moins un actionneur d'excitation (100) doté d'un volume de matériau excitateur et qui est alimenté électriquement et est commandée ou régulée par l'unité électronique (200) lorsque l'unité (90) de tension de service est en fonctionnement,

caractérisée en ce que

l'unité électronique (200) est configurée pour entraîner le ou les actionneurs d'excitation (100) à une fréquence de résonance (f_{res}),
en ce que le matériau excitateur est piézoélectrique, le volume du matériau piézoélectrique représentant au moins $0,2 \text{ cm}^3$,
en ce que le ou les actionneurs d'excitation (100) ont une densité de puissance d'au moins 5 Watts/cm^3 par rapport au volume du matériau piézoélectriquement actif (102) du ou des actionneurs d'excitation (100) et
en ce que l'unité électronique (200) comporte une unité de régulation (224) à adaptation de fréquence lui permettant de suivre la fréquence de résonance (f_{res}) du ou des actionneurs d'excitation (100), l'unité de régulation (224) commandant une unité (222) de fourniture d'énergie de l'unité électronique (200) de telle sorte que l'unité (222) de fourniture d'énergie

forme une tension rectangulaire de type sinusoïdal au moyen d'une modulation en sinus-triangle, le nombre des impulsions rectangulaires par période du signal sinusoïdal étant supérieur à 6.

2. Machine-outil électrique manuelle selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le nombre des impulsions rectangulaires par période du signal sinusoïdal est compris dans la plage de 10 à 100 et de préférence de 10 à 26.

3. Machine-outil électrique manuelle selon les revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le volume du matériau piézoélectrique représente au moins $0,5 \text{ cm}^3$ et en particulier au moins 1 cm^3 .

4. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le ou les actionneurs d'excitation (100) ont une densité de puissance d'au moins 20 Watts/cm^3 par rapport au volume du matériau piézoélectriquement actif (102) du ou des actionneurs d'excitation (100).

5. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le ou les actionneurs d'excitation présentent à la pointe de l'outil une amplitude d'oscillation d'au moins $3 \mu\text{m}$, de préférence d'au moins $8 \mu\text{m}$ et en particulier d'au moins $12 \mu\text{m}$.

6. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la puissance électrique qui alimente le ou les actionneurs d'excitation (100) à l'entrée de l'unité électronique (200) est d'au moins 20 Watts.

7. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'épaisseur de la plaque de l'actionneur d'excitation est typiquement de 1 mm à 10 mm, de préférence de 2 mm à 6 mm et en particulier de 5 mm.

8. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'intensité du champ d'entrée du ou des actionneurs d'excitation (100) est de l'ordre de 300 V/mm par rapport à l'épaisseur, en particulier l'épaisseur de la plaque du matériau piézoélectriquement actif qui de préférence est de l'ordre de 50 V/mm et de 220 V/mm .

9. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la tension d'entrée du ou des actionneurs d'excitation (100) est de l'ordre de moins de 1 000 Volt et est de préférence comprise dans la plage de 300 Volt à 700 Volt.

10. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la tension électrique de sortie de l'unité (90) de tension de service est inférieure à 100 Volt.
11. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisée en ce que** la tension électrique de sortie de l'unité (90) de tension de service est supérieure à 100 Volt.
12. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la fréquence de fonctionnement du ou des actionneurs d'excitation (100) est comprise dans la plage de 10 kHz à 1 000 kHz, de préférence de 30 kHz à 50 kHz et en particulier de 35 kHz à 45 kHz.
13. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'unité (90) de tension de service comporte un accumulateur électrochimique (92) et de préférence un accumulateur électrochimique (92) rechargeable.
14. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'unité (90) de tension de service comporte un redresseur (94).
15. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'unité électronique (200) est concentrée sur une carte de circuit (210).
16. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** pour filtrer les signaux et/ou pour compenser par induction le ou les actionneurs d'excitation (100), au moins une inductance est prévue dans un circuit de puissance de l'unité électronique (200) qui alimente en énergie électrique le ou les actionneurs d'excitation (100).
17. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**au moins l'unité d'entraînement (80), l'unité électronique (200) et l'unité (90) de tension de service sont réparties dans le boîtier (20) de telle sorte que le centre de masse soit situé au niveau de la partie de saisie (40).
18. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**en plus du ou des actionneurs d'excitation (100), l'unité d'entraînement (80) comporte au moins un autre composant d'entraînement.
19. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le ou les actionneurs d'excitation (100) forment un consommateur principal d'énergie de la machine-outil électrique (10) pour lequel de préférence au moins 50 % de puissance électrique d'entrée sont prévus.
20. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**un ou plusieurs affichages de fonctionnement optiques, acoustiques et/ou tactiles (120, 122) sont prévus pour indiquer l'état d'activation du ou des actionneurs d'excitation (100).
21. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**elle présente un éclairage du champ de travail.
22. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'actionneur d'excitation (100) est prévu pour former dans l'outil (60) des oscillations qui sont superposées au déplacement de travail de l'outil (60).
23. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'outil (60) est monté à rotation et **en ce que** le déplacement de travail de l'outil (60) est un déplacement de rotation.
24. Machine-outil électrique manuelle selon la revendication 18, **caractérisée en ce que** l'outil (60) est un disque de meulage.
25. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications 17 à 19, **caractérisée en ce que** les oscillations superposées excitent l'outil (60) dans au moins l'une des directions suivantes :
- une direction perpendiculaire au plan de déplacement de l'outil (60) dans lequel a lieu le déplacement de travail de l'outil (60),
la direction de l'axe longitudinal (L) d'un arbre d'outil (64) qui porte l'outil (60),
dans le plan de déplacement dans lequel le déplacement de travail de l'outil (60) a lieu et/ou
une direction perpendiculaire à l'arbre (64) de l'outil.
26. Machine-outil électrique manuelle selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'actionneur d'excitation (100) agit sur un palier (70, 72) de l'outil (60).

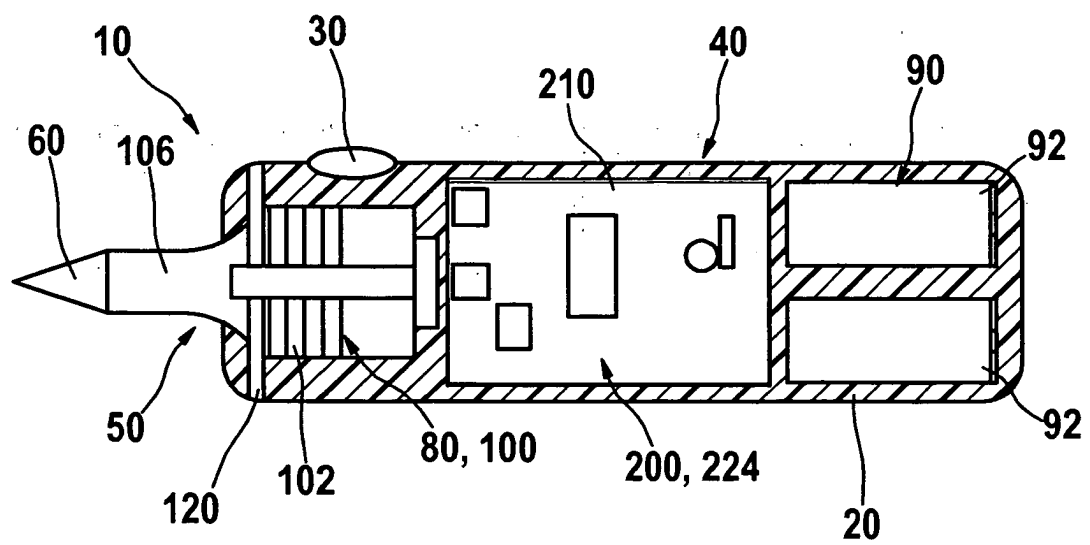


Fig. 1

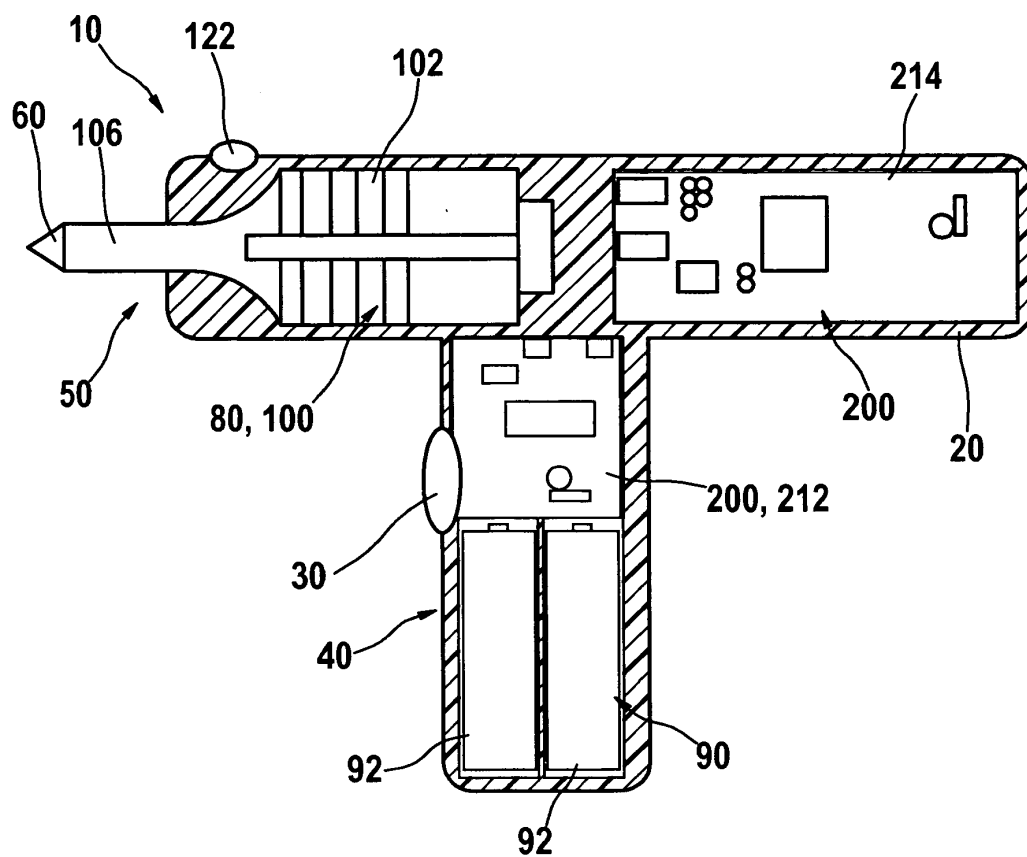


Fig. 2

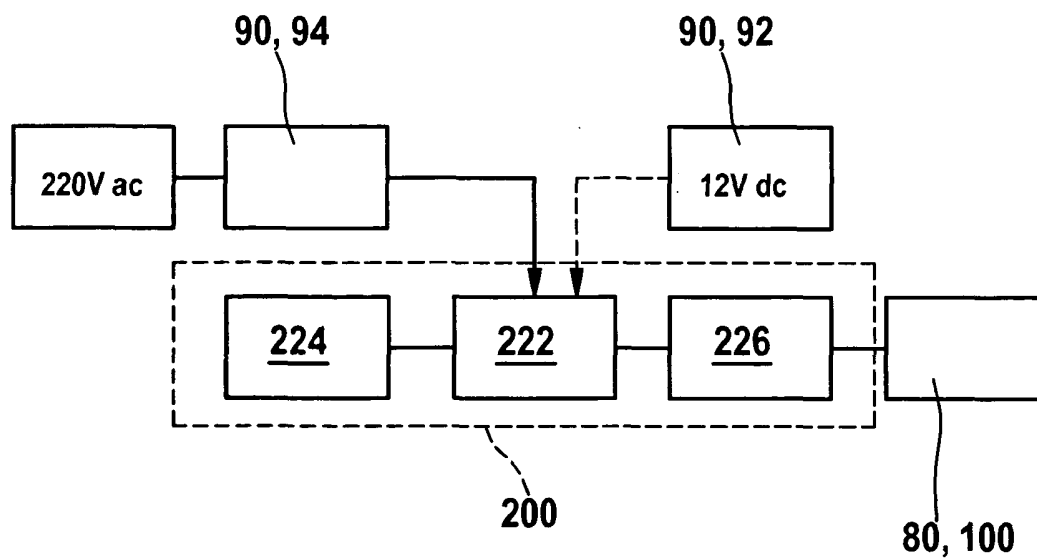


Fig. 3a

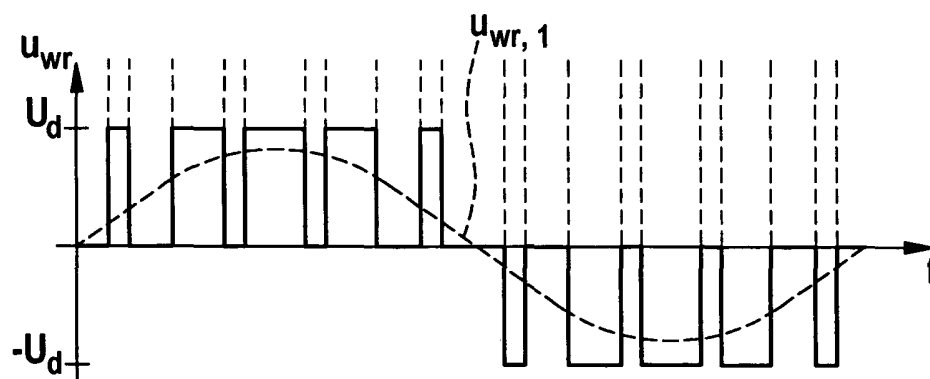


Fig. 3b

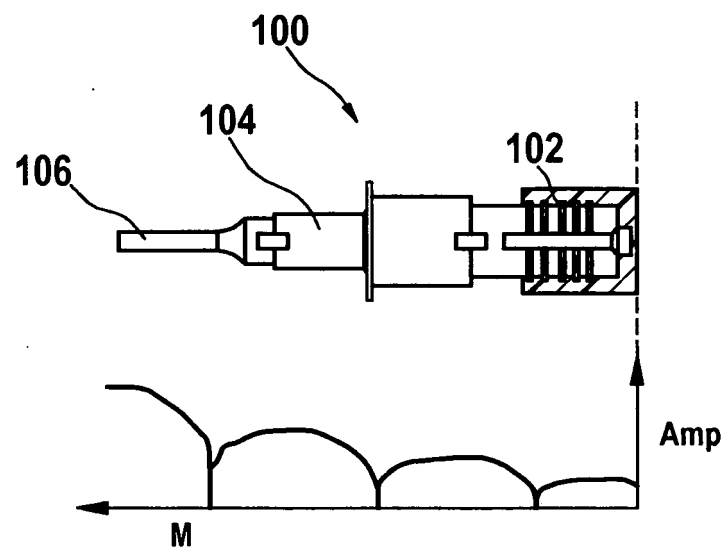


Fig. 4

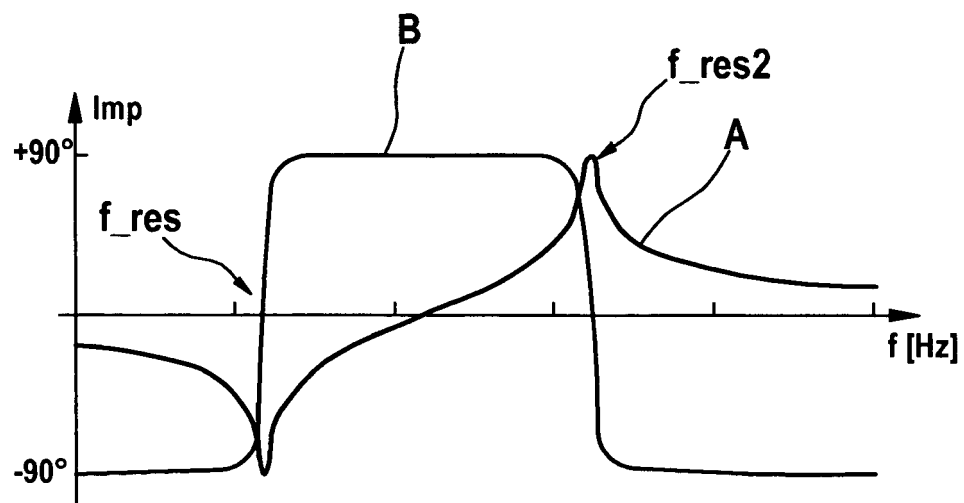


Fig. 5

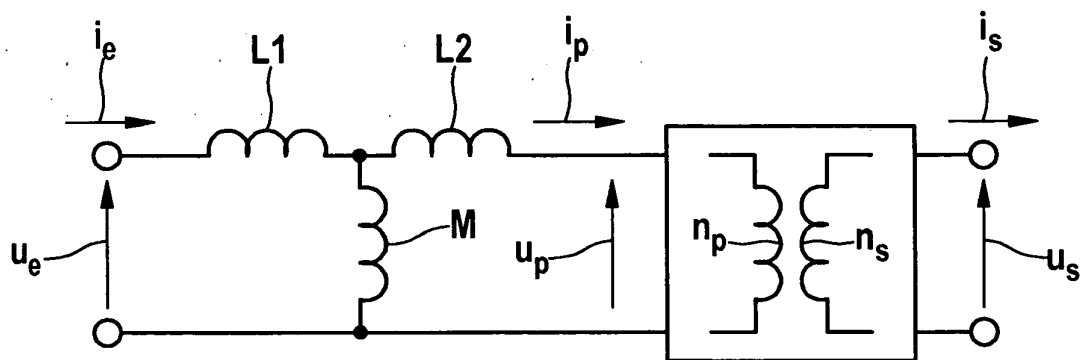


Fig. 6

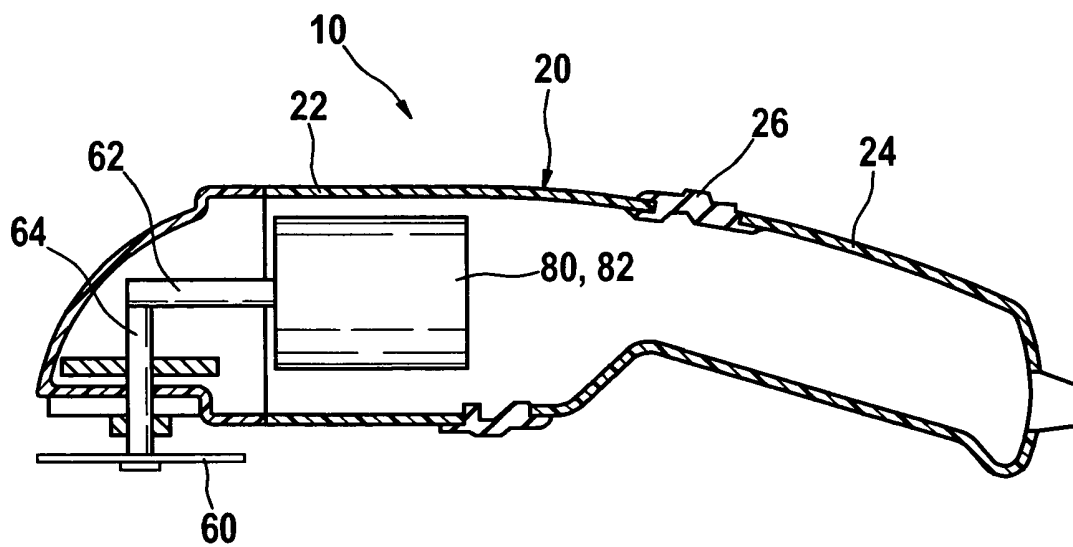


Fig. 7

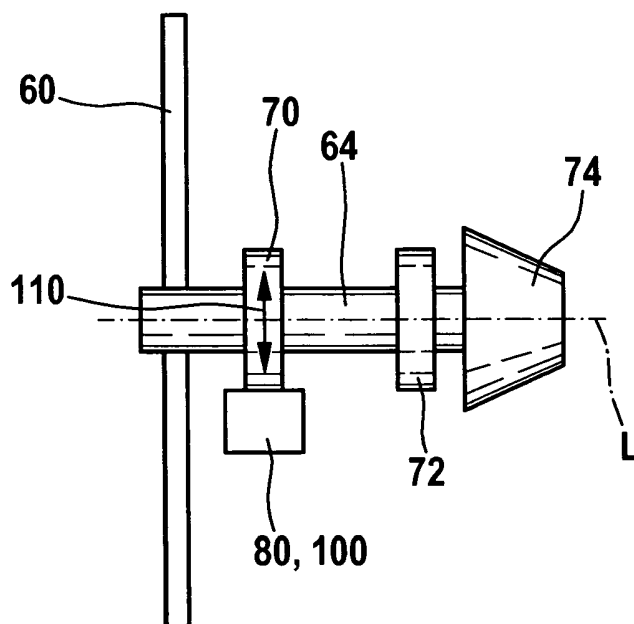


Fig. 8

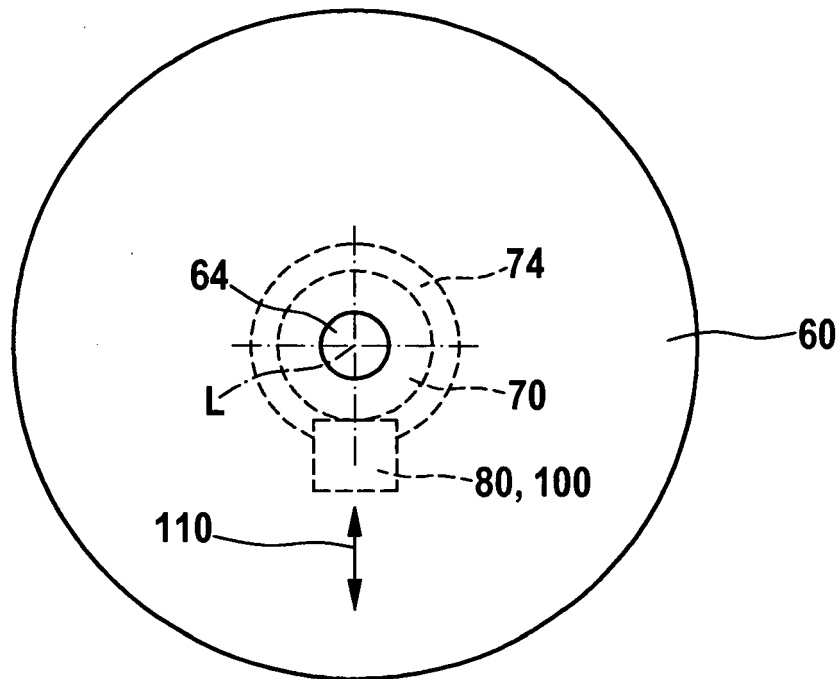


Fig. 9

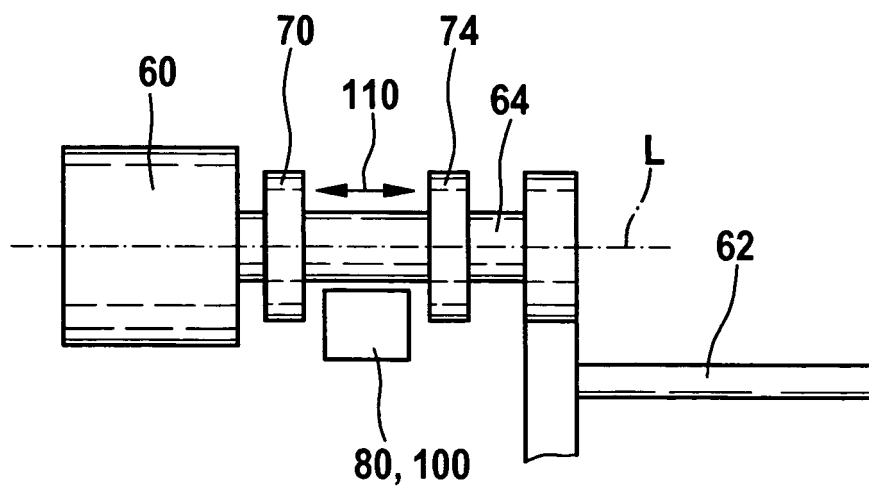


Fig. 10

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1598171 A2 [0002]
- EP 1598171 B1 [0004]