

(19)



(11)

EP 4 149 693 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

26.03.2025 Patentblatt 2025/13

(21) Anmeldenummer: **21762685.2**

(22) Anmeldetag: **16.08.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B06B 1/02 (2006.01) B06B 1/04 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B06B 1/0261; B06B 1/045; B06B 2201/72

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2021/072685

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2022/043108 (03.03.2022 Gazette 2022/09)

(54) **RESONANZVERFAHREN FÜR EIN SCHWINGUNGSSYSTEM, EINEN UMRICHTER, EINE ANREGUNGSEINHEIT UND DAS SCHWINGUNGSSYSTEM**

RESONANCE METHOD FOR A VIBRATION SYSTEM, A CONVERTER, AN EXCITATION UNIT AND VIBRATION SYSTEM

PROCÉDÉ DE RÉSONANCE POUR UN SYSTÈME DE VIBRATIONS, CONVERTISSEUR, UNITÉ D'EXCITATION ET SYSTÈME DE VIBRATIONS

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(30) Priorität: **31.08.2020 EP 20193664**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

22.03.2023 Patentblatt 2023/12

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**

80333 München (DE)

(72) Erfinder:

- **FRITSCH, Christoph**
96178 Pommersfelden (DE)

- **RICHTER, Theo**
91301 Forchheim (DE)

- **STREUBÜHR, Martin**
90513 Zirndorf (DE)

- **WEDEL, Bernd**
91096 Möhrendorf (DE)

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**

Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A2- 1 216 760 DE-A1- 102011 119 949

DE-A1- 4 001 367 US-A1- 2019 165 247

US-B2- 7 148 636

EP 4 149 693 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

[0001] Die Erfindung betrifft ein Resonanzverfahren für ein Schwingungssystem zum resonanten Schwingen einer Anregungseinheit mit einer Schwingungsmasse. Weiterhin betrifft die Erfindung einen Umrichter, die Anregungseinheit und das Schwingungssystem.

[0002] Industrielle Anwendungen mit einer elektromechanischen Anregungseinheit zum Erzeugen von Schwingungen einer Schwingungsmasse, bei denen ein schwingfähiges System, im Weiteren Schwingungssystem genannt, mit der Schwingungsmasse im Bereich einer Resonanzfrequenz angeregt werden soll, bedürfen grundsätzlich einer Ermittlung bzw. Abschätzung dieser Resonanzfrequenz bzw. der Herstellung des Zustands des resonanten Schwingens von Anregungseinheit und der in Schwingungen zu versetzenden Schwingungsmasse, um das Betriebsverhalten des Schwingungssystems energieeffizient, zuverlässig und aufwandsarm steuern bzw. regeln zu können.

[0003] Dabei umfasst die Anregungseinheit üblicherweise Elektromagneten, welche mittels elektrischer Umrichter betreibbar sind, und die Schwingungsmasse basierend auf einer induktiven Energieübertragung in Schwingungen versetzen.

[0004] Selbst geringe Abweichungen beim resonanten Schwingen von Anregungseinheit und Schwingungsmasse können zu erheblichen Einbußen bei der Energieeffizienz/ dem Wirkungsgrad bzw. der Güte des angestrebten Betriebsverhaltens/ der Zuverlässigkeit der jeweiligen Anwendung führen.

[0005] So bedingt die bisher separat zum eigentlichen Betrieb auszuführende Ermittlung der Resonanzfrequenz bzw. des eingeschwingenen, resonanten Schwingungszustands von Anregungseinheit und Schwingungsmasse bei entsprechenden Maschinen und Geräten im Produktionseinsatz oftmals erhebliche Stillstandszeiten, die grundsätzlich einen zusätzlichen Aufwand zum jeweiligen Produktionsprozess erfordern und somit auch nicht zu vernachlässigende Kosten verursachen.

[0006] Ein solches Schwingungssystem wird beispielsweise als Reibschweißmaschine oder Schwingförderer eingesetzt.

[0007] Am Beispiel der Reibschweißmaschine kann der prinzipielle Prozess eines derartigen Schwingungssystems kurz umrissen werden. Zum Verschweißen eines ersten Werkstücks mit einem zweiten Werkstück wird die Schwingungsmasse, welche einen ersten Werkstückträger und das damit verbundenen ersten Werkstück aufweist, mittels einer Anregungseinheit in erzwungene Schwingungen versetzt. Die Schwingungsmasse ist in der Regel mittels einer Federvorrichtung schwingbar gelagert.

[0008] Zur Erzeugung der Reibungswärme für diesen Produktionsprozess wird das erste Werkstück an dem zweiten Werkstück, welches mit einem im Allgemeinen feststehenden zweiten Werkstückträger verbunden ist,

bis zum Verschweißen gerieben.

[0009] Erfolgt diese Anregung mit der Resonanzfrequenz, also in Schwingungsresonanz zwischen Anregungseinheit und Schwingungsmasse, lässt sich die gewünschte Schwingung mit einem besonders niedrigem Energieaufwand erzeugen.

[0010] Diese Resonanzfrequenz des Schwingungssystems wird maßgeblich durch die Schwingungsmasse, welche hier das erste Werkstück umfasst, und der schwingungsfähigen Lagerung der Schwingungsmasse, also der Federsteifigkeit der verwendeten Federvorrichtung bestimmt.

[0011] Da das erste Werkstück zur Schwingungsmasse beiträgt, ist nach einem Werkstückwechsel des ersten Werkzeugs, sofern sich insbesondere die Masse des ersten Werkstücks ändert, ein erneutes Bestimmen der Resonanzfrequenz, also des resonanten Schwingungszustands von Anregungseinheit und Schwingungsmasse zwingend und mit erheblichem Aufwand erforderlich.

[0012] Andernfalls arbeitet das Schwingungssystem insbesondere energetisch nicht optimal, wodurch sich dessen Wirkungsgrad stark verringert bzw. ggf. auch die gewünschte Schwingamplitude nicht erreicht werden kann und die geforderte Schweißqualität eher mangelhaft wird.

[0013] Bisherige Anwendungen, wie die des Reibschweißens, verwenden überwiegend präoperative Methoden zur Ermittlung/Abschätzung der Resonanzfrequenz, um anschließend damit die Schwingungsmasse mittels der Anregungseinheit anzuregen und den geforderten resonanten Schwingungszustand von Anregungseinheit und Schwingungsmasse zu erreichen.

[0014] So wird die gesuchte Resonanzfrequenz mittels eines eigenständigen Hochlaufversuchs vor dem eigentlichen Produktionsprozess ermittelt und danach damit betreibt, bis eine erneuter Hochlaufversuch aufgrund des Einsatzes eines neuen ersten Werkstücks notwendig wird oder zwischenzeitlich auftretende unerwünschte Abweichungen beim Produktionsprozess eine Korrektur notwendig machen.

[0015] Das bedeutet, dass hier die Anregung der Schwingung nur auf Basis der durch den Hochlaufversuch ermittelten Frequenz erfolgt, welche die im tatsächlichen Produktionsprozess geforderte Resonanzfrequenz für den resonanten Schwingungszustand von Anregungseinheit und Schwingungsmasse, welche sich aufgrund von Verschleiß, Temperaturunterschieden, Materialabtrag etc. auch während des Betriebs im Produktionsprozess ändern kann, oftmals nur unzureichend trifft.

[0016] Die DE 10 2011 119 949 A1 bezieht sich auf eine Regelungsvorrichtung, insbesondere auf eine Drehra-tensensoreinrichtung mit harmonischer Führungsgröße bzw. mit harmonischem Sollwertsignal, sowie auf ein Verfahren zum Betrieb einer Regelungsvorrichtung mit harmonischer Führungsgröße. Die Regelungsvorrichtung umfasst eine Sensoreinheit, die ein Messsignal ausgibt, welches eine Auslenkung eines Schwingers

entlang einer Anregungsrichtung abbildet. Eine Regler-Haupteinheit leitet aus dem Messsignal und einem harmonischen Sollwertsignal ein Steuersignal für eine Aktuatoreinheit ab, so dass die Aktuatoreinheit einer Abweichung der Auslenkung des Schwingers von einer Soll-Amplitude einer harmonischen Resonanzschwingung entgegenwirkt.

[0017] Die US 2019/165247 A1 betrifft eine Steuerung einer Amplitude einer mechanischen Anregung für eine Last durch einen piezoelektrischen Antrieb mit einem Ultraschallstapel. Dazu bestimmt ein Regelkreis-Rückkopplungsregler in Echtzeit eine tatsächliche Amplitude der mechanischen Erregung am Ende des piezoelektrisch angetriebenen Ultraschallstapels.

[0018] Die US 7,148,636 B2 betrifft eine Motorantriebssteuerung, insbesondere eine Motorantriebssteuerung zur Steuerung eines linearen Vibrationsmotors, welche einen Motor auf Basis seines Antriebsstroms betreibt.

[0019] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Resonanzverfahren, einen Umrichter, eine Anregungseinheit und ein Schwingungssystem vorzuschlagen, welche einen erforderlichen resonanten Schwingungszustand zur resonanten Schwingung von der Anregungseinheit mit einer Schwingungsmasse des Schwingungssystems während des Produktionsbetriebs kontinuierlich ermitteln und das Schwingungssystem damit betrieben wird.

[0020] Die Aufgabe wird durch ein Resonanzverfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen, durch einen Umrichter nach den in Anspruch 8 angegebenen Merkmalen, durch eine Anregungseinheit mit dem Umrichter nach den in Anspruch 11 angegebenen Merkmalen und ein Schwingungssystem mit der Anregungseinheit nach den in Anspruch 13 angegebenen Merkmalen gelöst.

[0021] Für die Lösung der Aufgabe wird ein Resonanzverfahren für ein Schwingungssystem zum resonanten Schwingen einer Anregungseinheit mit einer Schwingungsmasse vorgeschlagen, aufweisend die Schritte einer Auslenkungserfassung einer Auslenkung der Schwingungsmasse, einer Geschwindigkeitsbildung einer Geschwindigkeit der Schwingungsmasse mittels Differenzierung der Auslenkung, einer Phasenlageerzeugung einer mechanischen Phasenlage mittels der Auslenkung und der Geschwindigkeit, einer Phasenlagekorrektur der mechanischen Phasenlage mittels eines Korrekturwerts zu einer korrigierten Phasenlage, einer Frequenzbildung einer elektrischen Kreisfrequenz mittels zumindest einer P-Reglung auf Basis der korrigierten Phasenlage, einer Phasenlagebildung einer elektrischen Phasenlage mittels Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz, einer Faktorbildung eines Korrekturfaktors mittels einer trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage und einer Sollwertbeaufschlagung eines Anregungssollwerts mit dem Korrekturfaktor zur Erzeugung eines korrigierten Anregungssollwerts.

[0022] Das Verfahren basiert in vorteilhafter Weise auf

der gedanklichen Einschränkung der Bewegungsfreiheit (dem Freiheitsgrad) der Schwingungsmasse und auf deren Resonanzfrequenz (hier der elektrischen Kreisfrequenz) gegenüber der Anregungseinheit.

[0023] Die Istposition der mittels der Auslenkungserfassung erfassten Auslenkung der Schwingungsmasse wird dazu in einen Vektor überführt, die Abszisse ist die erfasste Auslenkung und die Ordinate ist die mittels der Geschwindigkeitsbildung gebildete Geschwindigkeit der Schwingungsmasse als Differenzierung der Auslenkung gemäß der Formel

$$v(t) = \frac{dx}{dt}$$

wobei v die Geschwindigkeit, x die erfasste Auslenkung und t die Zeit ist.

[0024] Die durch die Phasenlageerzeugung erzeugte mechanische Phasenlage ergibt sich beispielsweise vorteilhaft mittels einer arctan2-Funktion auf Basis der Auslenkung und der Geschwindigkeit gemäß der Formel

$$\theta_m = \arctan2(x, v)$$

wobei θ_m die mechanische Phasenlage, v die Geschwindigkeit und x die Auslenkung ist.

[0025] In bevorzugter Weise wird als Geschwindigkeit eine normierte Geschwindigkeit zur Erzeugung der mechanischen Phasenlagen gewählt.

[0026] Mittels der Phasenlagekorrektur der mechanischen Phasenlage ergibt sich kontinuierlich in vorteilhafter Weise durch einen eines Korrekturwert die korrigierte Phasenlage.

[0027] Für die Frequenzbildung der elektrischen Kreisfrequenz kann anstatt der P-Reglung (mit Verstärkungsanteil K_p) auch eine PI-Reglung (mit Verstärkungsanteil K_p und Integralanteil I) oder auch eine PID-Reglung (mit Verstärkungsanteil K_p , Integralanteil I und Differenzierungsanteil D) auf Basis der korrigierten Phasenlage eingesetzt werden, was die P-Reglung qualitativ im Sinne mehr Regelungsqualität erhöhen kann.

[0028] Die sich bildende elektrische Kreisfrequenz ist dabei auch als aktuelle Schwingfrequenz (angeforderte Resonanzfrequenz) bzw. letzte aktuelle Schwingfrequenz (letzte angeforderte Resonanzfrequenz) zu verstehen. Ein gezieltes Einlernen der Regelung ist somit nicht notwendig.

[0029] Für die Phasenlagebildung der elektrischen Phasenlage wird in vorteilhafter Weise die elektrische Kreisfrequenz integriert.

[0030] Die Faktorbildung des Korrekturfaktors erfolgt mittels der trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage, beispielsweise durch eine Sinus-Funktion gemäß der Formel

$$kF = \sin(\theta_{el})$$

wobei k_F der Korrekturfaktor und Θ_{el} die elektrische Phasenlage ist.

[0031] Mittels der Sollwertbeaufschlagung wird der Anregungssollwerts als elektrischer Wert für eine schwingungserzeugende Kraft der Anregungseinheit zur Anregung der Schwingungsmasse mit dem Korrekturfaktor vorteilhaft korrigiert, derart, dass für die zu erzielende resonante Schwingung von Anregungseinheit und Schwingungsmasse ein korrigierter elektrischer Wert für die schwingungserzeugende Kraft als korrigierter Anregungssollwert erzeugt wird.

[0032] Mit diesem korrigierter Anregungssollwert wird beispielsweise ein Elektromagnet von der Anregungseinheit elektrisch angeregt, was die entsprechende resonante Schwingung von Anregungseinheit und Schwingungsmasse erzeugt.

[0033] Vorteilhafte Ausgestaltungsformen des Resonanzverfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0034] Bei einer ersten vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens weist das Resonanzverfahren den Schritt Geschwindigkeitsnormierung der Geschwindigkeit mittels der elektrischen Kreisfrequenz zu einer normierten Geschwindigkeit auf, wobei die Geschwindigkeit durch die elektrische Kreisfrequenz dividiert wird.

[0035] Um die Geschwindigkeit in vorteilhafter Weise auf die elektrische Kreisfrequenz abzubilden, wird die Geschwindigkeit auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz in die normierte Geschwindigkeit überführt gemäß der Formel

$$v_n(t) = \frac{1}{\omega_{el}} * \frac{dx}{dt}$$

wobei v_n die normierte Geschwindigkeit, ω_{el} die elektrische Kreisfrequenz, x die Auslenkung und t die Zeit ist.

[0036] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens ist zur Phasenlagekorrektur der Korrekturwert die rückgeführte elektrische Phasenlage und wird vorzugsweise die rückgeführte elektrische Phasenlage von der mechanischen Phasenlage subtrahiert.

[0037] Somit stellt sich aus Sicht der Regelung eine ausgeregelte Phasenlage ein, wobei die mechanische Phasenlage solange korrigiert wird, bis die korrigierten Phasenlage einen Wert von annähernd 0 annimmt.

[0038] Die in einer Regelungsschleife zur mechanischen Phasenlage als Korrekturwert zurückgeführte elektrische Phasenlage kann auch unter Berücksichtigung der Vorzeichen der mechanischen Phasenlage und der elektrischer Phasenlage auf die mechanische Phasenlage addiert werden.

[0039] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens wird zur Verfahrensinitialisierung eine initiale Kreisfrequenz vorgegeben oder die letzte bekannte elektrische Kreisfrequenz ver-

wendet.

[0040] Um das Resonanzverfahren z.B. bei dessen Start zu initialisieren, kann bei der Verfahrensinitialisierung bevorzugt die initiale Kreisfrequenz als z.B. ein Parameter vorgegeben werden, welcher auch schon der gewünschten Resonanzfrequenz entsprechen kann.

[0041] Es ist ebenso vorteilhaft möglich, z.B. bei Störungen oder einem Neuaufsetzen der Regelung nach einem Ausfall des Resonanzverfahrens, auf die letzte bekannt elektrische Kreisfrequenz zurückzugreifen.

[0042] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens ist die mechanische Phasenlage insbesondere zwischen einer Auslenkungsamplitude der Auslenkung und der Geschwindigkeit oder zwischen einer Auslenkungsamplitude der Auslenkung und der Auslenkung bestimmt.

[0043] Die Auslenkungsamplitude kann ermittelt werden gemäß der Formel

$$x_a = \sqrt{x^2 + v^2}$$

wobei x_a die Auslenkungsamplitude, x die Auslenkung und v die Geschwindigkeit ist.

[0044] In bevorzugter Weise wird als Geschwindigkeit die normierte Geschwindigkeit zur Ermittlung der Auslenkungsamplitude gewählt.

[0045] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens wird zur Auslenkungserfassung ein Auslenkungssignal von einer Auslenkungsmessvorrichtung erfasst und das Auslenkungssignal in Abhängigkeit vom Einbauort der Auslenkungsmessvorrichtung gegenüber der Schwingungsmasse um einen Gleichanteil korrigiert, wobei der Gleichanteil durch einen Gleichanteilparameter vorgegeben oder durch einen Gleichanteilhochpass ermittelt wird.

[0046] Die Auslenkungsmessvorrichtung misst dabei die Auslenkung der Schwingungsmasse gegenüber einer Ruheposition der Schwingungsmasse und stellt die Auslenkung in dem Auslenkungssignal für eine Weiterverarbeitung dem Resonanzverfahren bereit.

[0047] Mittels des Gleichanteilparameter oder des Gleichanteilhochpasses kann eine Korrektur des mit dem Auslenkungssignal behafteten Auslenkungsmesswerts der Auslenkung bzgl. des Einbauortes der Auslenkungsmessvorrichtung vorgenommen werden.

[0048] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens ist der Anregungssollwert ein Sollstrom und der korrigierte Anregungssollwert ein korrigierter Sollstrom.

[0049] Der Anregungssollwert als elektrischer Wert für die schwingungserzeugende Kraft und der korrigierte Anregungssollwert als korrigierter elektrischer Wert für die schwingungserzeugende Kraft zur Ansteuerung der Elektromagneten, z.B. mittels eines elektrischen Umrichters, ist jeweils in vorteilhafter Weise als Sollstrom zur Erzeugung einer kraftbildenden Schwingungsanregung ausgebildet. Grundsätzlich ist dazu jeweils auch

eine entsprechende Sollspannung geeignet.

[0050] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Resonanzverfahrens wird zur Störungsüberwachung die elektrische Kreisfrequenz auf Störungen beim resonanten Schwingen von Anregungseinheit und Schwingungsmasse überwacht.

[0051] Die elektrische Kreisfrequenz kann dazu in vorteilhafter Weise durch eine Frequenzuntergrenze auf eine Unterschreitung der elektrischen Kreisfrequenz und oder eine Frequenzobergrenze auf eine Unterschreitung der elektrischen Kreisfrequenz überwacht werden.

[0052] Für die Lösung der Aufgabe wird weiterhin ein Umrichter vorgeschlagen, welcher ein Erfassungsmittel, ausgebildet zur Auslenkungserfassung einer Auslenkung der Schwingungsmasse, ein erstes Bildungsmittel, ausgebildet zur Geschwindigkeitsbildung einer Geschwindigkeit der Schwingungsmasse mittels Differenzierung der Auslenkung, ein Erzeugungsmittel, ausgebildet zur Phasenlageerzeugung einer mechanischen Phasenlage mittels der Auslenkung und der Geschwindigkeit, ein Korrekturmittel, ausgebildet zur Phasenlagekorrektur der mechanischen Phasenlage mittels eines Korrekturwerts zu einer korrigierten Phasenlage, ein zweites Bildungsmittel, ausgebildet zur Frequenzbildung einer elektrischen Kreisfrequenz mittels zumindest einer P-Reglung auf Basis der korrigierten Phasenlage, ein drittes Bildungsmittel, ausgebildet zur Phasenlagebildung einer elektrischen Phasenlage mittels Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz, ein viertes Bildungsmittel, ausgebildet zur Faktorbildung eines Korrekturfaktors mittels einer trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage und ein Beaufschlagungsmittel, ausgebildet zur Sollwertbeaufschlagung eines Anregungssollwerts mit dem Korrekturfaktor zur Erzeugung eines korrigierten Anregungssollwerts aufweist.

[0053] Bei einer ersten vorteilhaften Ausgestaltungsform des Umrichters weist der Umrichter ein Normierungsmittel auf, ausgebildet zur Geschwindigkeitsnormierung der Geschwindigkeit mittels der elektrischen Kreisfrequenz zu einer normierten Geschwindigkeit, wobei die Geschwindigkeit durch die elektrische Kreisfrequenz dividierbar ist.

[0054] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltungsform des Umrichters ist zur Phasenlagekorrektur als Korrekturwert die rückgeführte elektrische Phasenlage vorgesehen und ist vorzugsweise die rückgeführte elektrische Phasenlage von der mechanischen Phasenlage subtrahierbar.

[0055] Grundsätzlich ist der Umrichter dazu ausgebildet, das oben dargestellt erfindungsgemäße Resonanzverfahren auszuführen.

[0056] Für die Lösung der Aufgabe wird ebenfalls eine Anregungseinheit vorgeschlagen, welche mindestens einen Elektromagneten zur Anregung der Schwingungsmasse, den erfindungsgemäßen Umrichter zum Betrieb des mindestens einen Elektromagneten und eine Aus-

lenkungsmessvorrichtung zur Messung der Auslenkung der Schwingungsmasse gegenüber einer Ruheposition der Schwingungsmasse aufweist.

[0057] Die mittels der Auslenkungsmessvorrichtung gemessene Auslenkung wird durch ein Auslenkungssignal an das Erfassungsmittel des Umrichters zur Auslenkungserfassung übertragen.

[0058] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltungsform der Anregungseinheit weist die Anregungseinheit zumindest ein Federelement auf, wobei das zumindest eine Federelement mit der Schwingungsmasse verbunden ist.

[0059] Denkbar sind hier auch Lösungen mit zwei oder mehreren Federelementen, mittels derer die Schwingungsmasse schwingbar gelagert ist.

[0060] Für die Lösung der Aufgabe wird auch ein Schwingungssystem vorgeschlagen, welches die erfindungsgemäße Anregungseinheit und die Schwingungsmasse aufweist.

[0061] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltungsform des Schwingungssystems ist das Schwingungssystem als Reibschweißvorrichtung oder als Transportvorrichtung hergerichtet.

[0062] Transportvorrichtung sind z.B. Fördervorrichtungen zum Materialtransport (sogenannte Rüttler oder Schwingförderer), welche ihr Transportgut durch in Schwingungen gesetzte Transportbänder befördern.

[0063] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden. Es zeigt:

FIG 1 ein Struktogramm des erfindungsgemäßen Resonanzverfahrens,

FIG 2 eine schematische Regelungsdarstellung des erfindungsgemäßen Resonanzverfahrens und

FIG 3 eine schematische Darstellung einer Reibschweißvorrichtung mit dem erfindungsgemäßen Umrichter, der erfindungsgemäßen Anregungseinheit und dem erfindungsgemäßen Schwingungssystem.

[0064] Die FIG 1 zeigt ein Struktogramm des erfindungsgemäßen Resonanzverfahrens 1 mit Verfahrensschritten für ein resonantes Schwingen einer Anregungseinheit mit einer Schwingungsmasse.

[0065] Während der Auslenkungserfassung 5 wird eine Auslenkung der Schwingungsmasse erfasst. Ein dazu von einer Auslenkungsmessvorrichtung erfasstes Auslenkungssignal kann in Abhängigkeit vom Einbauort der Auslenkungsmessvorrichtung gegenüber der Schwingungsmasse um einen Gleichanteil korrigiert werden, wobei der Gleichanteil durch einen Gleichanteilparameter 34 vorgegeben oder durch einen Gleich-

anteilhochpass 19 ermittelt werden kann.

[0066] Mittels Differenzierung der Auslenkung wird bei der Geschwindigkeitsbildung 6 eine Geschwindigkeit der Schwingmasse gebildet, wobei die Geschwindigkeit auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz in eine normierte Geschwindigkeit überführt wird, indem die Geschwindigkeit durch die elektrische Kreisfrequenz dividiert wird.

[0067] Bei der Phasenlageerzeugung 7 wird eine mechanischen Phasenlage auf Basis der Auslenkung und der Geschwindigkeit erzeugt.

[0068] Über die Phasenlagekorrektur 8 wird die mechanische Phasenlage durch einen Korrekturwert in eine korrigierte Phasenlage gewandelt. Der Korrekturwert ist dabei die in einer Regelungsschleife rückgeführte elektrische Phasenlage, wobei vorzugsweise die rückgeführte elektrische Phasenlage von der mechanischen Phasenlage subtrahiert wird.

[0069] Eine Frequenzbildung 9 einer elektrischen Kreisfrequenz erfolgt mittels zumindest einer P-Reglung auf Basis der korrigierten Phasenlage. Für die Frequenzbildung 9 kann die P-Reglung auch als PI-Reglung oder auch als PID-Reglung ausgebildet sein.

[0070] Für eine Verfahrensinitialisierung 16 kann eine initiale Kreisfrequenz vorgegeben werden oder die letzte bekannte elektrische Kreisfrequenz verwendet werden.

[0071] Weiterhin kann zu einer Störungsüberwachung 33 die elektrische Kreisfrequenz auf Störungen beim resonanten Schwingen von Anregungseinheit und Schwingungsmasse überwacht werden. Typische Störungen können ihre Ursache z.B. in mechanischen Defekten beim Schwingen der Schwingungsmasse haben, so dass sich die geforderte elektrische Kreisfrequenz zu gering oder zu hoch werden kann und das Resonanzverfahren ggf. abgebrochen werden muss.

[0072] Bei der Phasenlagebildung 10 einer elektrischen Phasenlage erfolgt eine Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz.

[0073] Während der Faktorbildung 11 eines Korrekturfaktors kommt eine trigonometrische Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage zum Einsatz und der Korrekturfaktor korrigiert während einer Sollwertbeaufschlagung 12 einen Anregungssollwerts auf einen korrigierten Anregungssollwerts.

[0074] In FIG 2 wird eine schematische Regelungs-darstellung des erfindungsgemäßen Resonanzverfahrens 1 gezeigt. Dabei kann das Resonanzverfahren 1 von einem Umrichter, insbesondere von einer Regelungseinheit des Umrichters, ausgeführt werden.

[0075] Ein Erfassungsmittel 21 ist zur Auslenkungserfassung 5 einer Auslenkung x der Schwingungsmasse ausgebildet. Ein als Auslenkung x von einer Auslenkungsmessvorrichtung erfasstes Auslenkungssignal wird, in Abhängigkeit vom Einbauort der Auslenkungsmessvorrichtung gegenüber der Schwingungsmasse, durch ein Hochpassmittel 37 von einem Gleichanteilhochpass 19 um einen Gleichanteil korrigiert.

[0076] Ein erstes Bildungsmittel 22 differenziert die Auslenkung x mittels der Geschwindigkeitsbildung 6 zu

einer Geschwindigkeit v der Schwingmasse. Die Geschwindigkeit v wird weiterhin durch ein Normierungsmittel 35 in einer Geschwindigkeitsnormierung 15 auf Basis einer zurückgeführten elektrischen Kreisfrequenz ω_{el} in eine normierte Geschwindigkeit v_n überführt, indem die Geschwindigkeit v durch die elektrische Kreisfrequenz ω_{el} dividiert wird.

[0077] Ein Erzeugungsmittel 23 ist zur Phasenlageerzeugung 7 einer mechanischen Phasenlage Θ_m ausgebildet, was auf Basis der Auslenkung x und der Geschwindigkeit v erfolgt.

[0078] Ein Korrekturmittel 24 ist zur Phasenlagekorrektur 8 der mechanischen Phasenlage Θ_m ausgebildet, wobei die mechanische Phasenlage Θ_m mittels eines Korrekturwerts k_Θ in eine korrigierte Phasenlage Θ_k überführt wird. Als Korrekturwert k_Θ wird eine rückgeführte elektrische Phasenlage Θ_{el} eingesetzt, wobei die rückgeführte elektrische Phasenlage Θ_{el} von der mechanischen Phasenlage Θ_m subtrahiert wird.

[0079] Ein zweites Bildungsmittel 25 ist zur Frequenzbildung 9 der elektrischen Kreisfrequenz ω_{el} mittels hier einer P-Reglung, welche auch eine PI-Reglung oder eine PID-Reglung sein kann, auf Basis der korrigierten Phasenlage Θ_k ausgebildet. Die elektrische Kreisfrequenz ω_{el} wird an dieser Stelle zum Normierungsmittel 35 für die Geschwindigkeitsnormierung 15 zurückgegeben.

[0080] Von einem Initialisierungsmittel 36 kann zur Verfahrensinitialisierung 16 eine initiale Kreisfrequenz ω_{in} vorgegeben werden.

[0081] Durch ein drittes Bildungsmittel 26 erfolgt eine Phasenlagebildung 10 der elektrischen Phasenlage Θ_{el} mittels Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz ω_{el} . Die elektrische Phasenlage Θ_{el} wird an dieser Stelle zum Korrekturmittel 24 für die Phasenlagekorrektur 8 zurückgeführt.

[0082] Von einem vierten Bildungsmittel 27 wird eine Faktorbildung 11 eines Korrekturfaktors k_F mittels einer trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage Θ_{el} durchgeführt.

[0083] Ein Beaufschlagungsmittel 28, ausgebildet zur Sollwertbeaufschlagung 12 eines Anregungssollwerts 13 in Form eines Sollstroms I_S mit dem Korrekturfaktor k_F , erzeugt einen korrigierten Anregungssollwerts 14 in Form eines korrigierten Sollstroms I_{SK} . Mit diesem korrigierten Sollstroms I_{SK} wird insbesondere ein Elektromagnet betrieben, welcher von der Anregungseinheit umfasst ist und die Schwingungsmasse zum resonanten Schwingen anregt.

[0084] Mittels FIG 3 wird eine schematische Darstellung einer Reibschweißvorrichtung 32 mit dem erfindungsgemäßen Umrichter 20, der erfindungsgemäßen Anregungseinheit 4 und dem erfindungsgemäßen Schwingungssystem 2 dargestellt.

[0085] Das Schwingungssystem 2 ist hier beispielhaft als Reibschweißvorrichtung 32 mit der Anregungseinheit 4 und einer Schwingmasse 3 ausgebildet.

[0086] An der Schwingungsmasse 3 ist ein erstes Befestigungsmittel 41 für ein erstes Werkstück 43 ange-

ordnet. Die Schwingungsmasse 3 mit dem ersten Befestigungsmittel 41 und dem ersten Werkstück 43 ist schwingungsfähig gelagert.

[0087] Unmittelbar gegenüber dem ersten Werkstück 43 ist ein zweites Werkstück 44 mit einem zweiten Befestigungsmittel 42 verbunden. Das zweite Werkstück 44 am zweiten Befestigungsmittel 42 ist dabei gegenüber dem ersten Werkstück 43 fest fixiert und nicht schwingbar gelagert.

[0088] Die Anregungseinheit 4 zur Schwingungsanregung der Schwingmasse 3 umfasst den Umrichter 20, einen Elektromagnet 29, einen weiteren Elektromagneten 30, eine erstes und zweites Federelement 38,39 zur schwingungsfähigen Lagerung der Schwingungsmasse 3, eine Auslenkungsmessvorrichtung 18 sowie ein von der Auslenkungsmessvorrichtung 18 an den Umrichter 20 übermitteltes Auslenkungssignal, welches einen gemessenen Istwert der Auslenkung aufweist.

[0089] Die Messung der Auslenkung mittels der Auslenkungsmessvorrichtung 18 erfolgt gegenüber einer Ruheposition 31 der Schwingungsmasse 3.

[0090] Mittels des Umrichters 20, insbesondere mittels der Regelungseinheit 40 des Umrichters 20, ist das erfindungsgemäße Regelungsverfahren ausführbar.

[0091] Im Betrieb der Reibschweißvorrichtung 32 wird das am ersten Befestigungsmittel 41 der Schwingungsmasse 3 befestigte erste Werkstück 43 in resonante Schwingungen mit der Anregungseinheit 4 versetzt. Das in Schwingungen versetzte erste Werkstück 43 reibt sich an dem fest fixierten und nicht schwingbaren zweiten Werkstück 44, wobei Reibungswärme entsteht und beide Werkstücke 43,44 miteinander energieeffizient und in hoher Herstellungsqualität verschweißt werden.

Patentansprüche

1. Resonanzverfahren (1) für ein Schwingungssystem (2) zum resonanten Schwingen einer Anregungseinheit (4) mit einer Schwingungsmasse (3), aufweisend die Schritte

- Auslenkungserfassung (5) einer Auslenkung (x) der Schwingungsmasse (3), wobei zur Auslenkungserfassung (5) ein Auslenkungssignal (17) von einer Auslenkungsmessvorrichtung (18) erfasst und das Auslenkungssignal (17) in Abhängigkeit vom Einbauort der Auslenkungsmessvorrichtung (18) gegenüber der Schwingungsmasse (3) um einen Gleichanteil korrigiert wird, wobei der Gleichanteil durch einen Gleichanteilparameter (34) vorgegeben oder durch einen Gleichanteilhochpass (19) ermittelt wird,
- Geschwindigkeitsbildung (6) einer Geschwindigkeit (v) der Schwingmasse (3) mittels Differenzierung der Auslenkung (x),
- Phasenlageerzeugung (7) einer mechani-

schsen Phasenlage (Θ_m) mittels der Auslenkung (x) und der Geschwindigkeit (v),

- Phasenlagekorrektur (8) der mechanischen Phasenlage (Θ_m) mittels eines Korrekturwerts (k_G) zu einer korrigierten Phasenlage (Θ_k),
- Frequenzbildung (9) einer elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}) mittels zumindest einer P-Regelung auf Basis der korrigierten Phasenlage (Θ_k),
- Phasenlagebildung (10) einer elektrischen Phasenlage (Θ_{el}) mittels Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}),
- Faktorbildung (11) eines Korrekturfaktors (k_F) mittels einer trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage (Θ_{el}) und
- Sollwertbeaufschlagung (12) eines Anregungssollwerts (13) mit dem Korrekturfaktor (k_F) zur Erzeugung eines korrigierten Anregungssollwerts (14).

2. Resonanzverfahren (1) nach Anspruch 1, aufweisend den Schritt Geschwindigkeitsnormierung (15) der Geschwindigkeit (v) mittels der elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}) zu einer normierten Geschwindigkeit (v_n), wobei die Geschwindigkeit (v) durch die elektrische Kreisfrequenz (ω_{el}) dividiert wird.

3. Resonanzverfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei zur Phasenlagekorrektur (8) der Korrekturwert (k_G) die rückgeführte elektrische Phasenlage (Θ_{el}) ist und vorzugsweise die rückgeführte elektrische Phasenlage (Θ_{el}) von der mechanischen Phasenlage (Θ_m) subtrahiert wird.

4. Resonanzverfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verfahrensoptimierung (16) eine initiale Kreisfrequenz (ω_{in}) vorgegeben oder die letzte bekannte elektrische Kreisfrequenz (ω_{el}) verwendet wird.

5. Resonanzverfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mechanische Phasenlage (Θ_m) zwischen einer Auslenkungsamplitude (x_a) der Auslenkung (x) und der Geschwindigkeit (v) oder als Phasenlage zwischen einer Auslenkungsamplitude (x_a) der Auslenkung (x) und der Auslenkung (x) bestimmt ist.

6. Resonanzverfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Anregungssollwert (13) ein Sollstrom (I_S) und der korrigierte Anregungssollwert (14) ein korrigierter Sollstrom (I_{Sk}) ist.

7. Resonanzverfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Störungsüberwachung (33) die elektrische Kreisfrequenz (ω_{el}) auf Störungen beim resonanten Schwingen von Anregungseinheit (4) und Schwingungsmasse (3) überwacht wird.

8. Umrichter (20), aufweisend

- ein Erfassungsmittel (21), ausgebildet zur Auslenkungserfassung (5) einer Auslenkung (x) der Schwingungsmasse (3), wobei zur Auslenkungserfassung (5) ein Auslenkungssignal (17) von einer Auslenkungsmessvorrichtung (18) erfasst und das Auslenkungssignal (17) in Abhängigkeit vom Einbauort der Auslenkungsmessvorrichtung (18) gegenüber der Schwingungsmasse (3) um einen Gleichanteil korrigiert wird, wobei der Gleichanteil durch einen Gleichanteilparameter (34) vorgegeben oder durch einen Gleichanteillochpass (19) ermittelt wird,
- ein erstes Bildungsmittel (22), ausgebildet zur Geschwindigkeitsbildung (6) einer Geschwindigkeit (v) der Schwingungsmasse (3) mittels Differenzierung der Auslenkung (x),
- ein Erzeugungsmittel (23), ausgebildet zur Phasenlageerzeugung (7) einer mechanischen Phasenlage (Θ_m) mittels der Auslenkung (x) und der Geschwindigkeit (v),
- ein Korrekturmittel (24), ausgebildet zur Phasenlagekorrektur (8) der mechanischen Phasenlage (Θ_m) mittels eines Korrekturwerts (k_Θ) zu einer korrigierten Phasenlage (Θ_k),
- ein zweites Bildungsmittel (25), ausgebildet zur Frequenzbildung (9) einer elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}) mittels zumindest einer P-Regelung auf Basis der korrigierten Phasenlage (Θ_k),
- ein drittes Bildungsmittel (26), ausgebildet zur Phasenlagebildung (10) einer elektrischen Phasenlage (Θ_{el}) mittels Integration auf Basis der elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}),
- ein viertes Bildungsmittel (27), ausgebildet zur Faktorbildung (11) eines Korrekturfaktors (k_F) mittels einer trigonometrischen Funktion auf Basis der elektrischen Phasenlage (Θ_{el}) und
- ein Beaufschlagungsmittel (28), ausgebildet zur Sollwertbeaufschlagung (12) eines Anregungssollwerts (13) mit dem Korrekturfaktor (k_F) zur Erzeugung eines korrigierten Anregungssollwerts (14).

9. Umrichter (20) nach Anspruch 8, aufweisend ein Normierungsmittel (35), ausgebildet zur Geschwindigkeitsnormierung (15) der Geschwindigkeit (v) mittels der elektrischen Kreisfrequenz (ω_{el}) zu einer normierten Geschwindigkeit (v_n), wobei die Geschwindigkeit (v) durch die elektrische Kreisfrequenz (ω_{el}) dividierbar ist.

10. Umrichter (20) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei zur Phasenlagekorrektur (8) als Korrekturwert (k_Θ) die rückgeführte elektrische Phasenlage (Θ_{el}) vorgesehen ist und vorzugsweise die rückgeführte elektrische Phasenlage (Θ_{el}) von der mechanischen

Phasenlage (Θ_m) subtrahierbar ist.

11. Anregungseinheit (4), aufweisend

- mindestens einen Elektromagneten (29) zur Anregung der Schwingungsmasse (3),
- einen Umrichter (20) nach einem der Ansprüche 8 bis 10 zum Betrieb des mindestens einen Elektromagneten (29) und
- eine Auslenkungsmessvorrichtung (18) zur Messung der Auslenkung (x) der Schwingungsmasse (3) gegenüber einer Ruheposition (31) der Schwingungsmasse (3).

12. Anregungseinheit (4) nach Anspruch 11, aufweisend zumindest ein Federelement (38), wobei das zumindest eine Federelement (38) mit der Schwingungsmasse (3) verbunden ist.

13. Schwingungssystem (2), aufweisend eine Anregungseinheit (4) nach einem der Ansprüche 11 oder 12 und die Schwingungsmasse (3).

14. Schwingungssystem (2) nach Anspruch 13, hergerichtet als Reibschweißvorrichtung (32) oder als Transportvorrichtung.

Claims

1. Resonance method (1) for a vibration system (2) for the resonant vibration of an excitation unit (4) with a vibrating mass (3), having the steps

- deflection detection (5) of a deflection (x) of the vibrating mass (3), wherein a deflection signal (17) is detected by a deflection measuring apparatus (18) for deflection detection (5) and the deflection signal (17) is corrected by a DC component relative to the vibrating mass (3) as a function of the installation location of the deflection measuring apparatus (18), wherein the DC component is predetermined by a DC component parameter (34) or determined by a DC component high-pass filter (19),
- velocity formation (6) of a velocity (v) of the vibrating mass (3) by means of differentiating the deflection (x),
- phase position generation (7) of a mechanical phase position (Θ_m) by means of the deflection (x) and the velocity (v),
- phase position correction (8) of the mechanical phase position (Θ_m) by means of a correction value (k_Θ) to form a corrected phase position (Θ_k),
- frequency formation (9) of an electrical angular frequency (ω_{el}) by means of at least one P-regulation on the basis of the corrected phase

- position (Θ_k),
 - phase position formation (10) of an electrical phase position (Θ_{el}) by means of integration on the basis of the electrical angular frequency (ω_{el}),
 - factor formation (11) of a correction factor (k_F) by means of a trigonometric function on the basis of the electrical phase position (Θ_{el}) and
 - setpoint value application (12) of the correction factor (k_F) to an excitation setpoint value (13) in order to generate a corrected excitation setpoint value (14).
2. Resonance method (1) according to claim 1, having the step of velocity standardisation (15) of the velocity (v) by means of the electrical angular frequency (ω_{el}) to form a standardised velocity (v_n), wherein the velocity (v) is divided by the electrical angular frequency (ω_{el}).
 3. Resonance method (1) according to one of claims 1 or 2, wherein for phase position correction (8), the correction value (k_Θ) is the fed-back electrical phase position (Θ_{el}) and the fed-back electrical phase position (Θ_{el}) is preferably subtracted from the mechanical phase position (Θ_m).
 4. Resonance method (1) according to one of the preceding claims, wherein an initial angular frequency (ω_{in}) is specified or the last known electrical angular frequency (ω_{el}) is used for method initialisation (16).
 5. Resonance method (1) according to one of the preceding claims, wherein the mechanical phase position (Θ_m) is determined between a deflection amplitude (x_a) of the deflection (x) and the velocity (v) or as a phase position between a deflection amplitude (x_a) of the deflection (x) and the deflection (x).
 6. Resonance method (1) according to one of the preceding claims, wherein the excitation setpoint value (13) is a setpoint current (I_S) and the corrected excitation setpoint value (14) is a corrected setpoint current (I_{Sk}).
 7. Resonance method (1) according to one of the preceding claims, wherein the electrical angular frequency (ω_{el}) is monitored for disturbances in the resonant vibration of the excitation unit (4) and the vibrating mass (3) for fault monitoring (33).
 8. Converter (20), having
 - a detection means (21), configured for deflection detection (5) of a deflection (x) of the vibrating mass (3), wherein a deflection signal (17) is detected by a deflection measuring apparatus (18) for deflection detection (5) and the deflection signal (17) is corrected by a DC component relative to the vibrating mass (3) as a function of the installation location of the deflection measuring apparatus (18), wherein the DC component is predetermined by a DC component parameter (34) or determined by a DC component high-pass filter (19),
 - a first forming means (22), configured for velocity formation (6) of a velocity (v) of the vibrating mass (3) by means of differentiating the deflection (x),
 - a generating means (23), configured for phase position generation (7) of a mechanical phase position (Θ_m) by means of the deflection (x) and the velocity (v),
 - a correction means (24), configured for phase position correction (8) of the mechanical phase position (Θ_m) by means of a correction value (k_Θ) to form a corrected phase position (Θ_k),
 - a second forming means (25), configured for frequency formation (9) of an electrical angular frequency (ω_{el}) by means of at least one P-regulation on the basis of the corrected phase position (Θ_k),
 - a third forming means (26), configured for phase position formation (10) of an electrical phase position (Θ_{el}) by means of integration on the basis of the electrical angular frequency (ω_{el}),
 - a fourth forming means (27), configured for factor formation (11) of a correction factor (k_F) by means of a trigonometric function on the basis of the electrical phase position (Θ_{el}) and
 - an application means (28), configured for setpoint value application (12) of the correction factor (k_F) to an excitation setpoint value (13) in order to generate a corrected excitation setpoint value (14).
 9. Converter (20) according to claim 8, having a standardisation means (35), configured for velocity standardisation (15) of the velocity (v) to form a standardised velocity (v_n) by means of the electrical angular frequency (ω_{el}), wherein the velocity (v) can be divided by the electrical angular frequency (ω_{el}).
 10. Converter (20) according to one of claims 8 or 9, wherein for phase position correction (8) the fed-back electrical phase position (Θ_{el}) is provided as the correction value (k_Θ) and the fed-back electrical phase position (Θ_{el}) can preferably be subtracted from the mechanical phase position (Θ_m).
 11. Excitation unit (4), having
 - at least one electromagnet (29) for exciting the vibrating mass (3),
 - a converter (20) according to one of claims 8 to

- 10 for operating the at least one electromagnet (29) and
 - a deflection measuring apparatus (18) for measuring the deflection (x) of the vibrating mass (3) with regard to a resting position (31) of the vibrating mass (3). 5
12. Excitation unit (4) according to claim 11, having at least one spring element (38), wherein the at least one spring element (38) is connected to the vibrating mass (3). 10
13. Vibration system (2), having an excitation unit (4) according to one of claims 11 or 12 and the vibrating mass (3). 15
14. Vibration system (2) according to claim 13, prepared as a friction welding apparatus (32) or as a transport apparatus. 20

Revendications

1. Procédé (1) de résonnance pour un système (2) de vibration pour la vibration résonnante d'une unité (4) d'excitation avec une masselotte (3) de vibration, comportant les stades : 25
- détection (5) d'une déviation (x) de la masselotte (3) de vibration, dans lequel, pour la détection (5) de la déviation, on détecte un signal (17) de déviation par un dispositif (18) de mesure de la déviation et on corrige d'une composante continue le signal (17) de déviation en fonction de l'emplacement de montage du dispositif (18) de mesure de la déviation par rapport à la masselotte (3) de vibration, dans lequel on prescrit la composante continue par un paramètre (34) de composante continue ou on la détermine par un passe haut (19) de composante continue, 30
 - formation (6) d'une vitesse (v) de la masselotte (3) de vibration, au moyen d'une différentiation de la déviation (x), 35
 - production (7) d'une position (θ_m) en phase mécanique, au moyen de la déviation (x) et de la vitesse (v), 40
 - correction (8) de la position (θ_m) en phase mécanique en une position (θ_k) en phase corrigée, au moyen d'une valeur (k_e) de correction, 45
 - formation (9) d'une fréquence (ω_{el}) circulaire électrique, au moyen d'au moins une régulation P sur la base de la position (θ_k) en phase corrigée, 50
 - formation (10) d'une position (θ_{el}) en phase électrique, au moyen d'une intégration sur la base de la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique, 55
 - formation (11) d'un facteur (k_F) de correction, au moyen d'une fonction trigonométrique sur la
- base de la position (θ_{el}) en phase électrique et - application (12) du facteur (k_F) de correction à une valeur (13) de consigne d'excitation pour la production d'une valeur (14) de consigne d'excitation corrigée.
2. Procédé (1) de résonnance suivant la revendication 1, comportant le stade de normer (15) la vitesse (v), au moyen de la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique, en une vitesse (v_n) normée, la vitesse (v) étant divisée par la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique.
3. Procédé (1) de résonnance suivant l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel, pour la correction (8) de la position en phase, la valeur (k_θ) de correction est la position (θ_{el}) en phase électrique de réaction, et de préférence on soustrait la position (θ_{el}) en phase électrique de réaction de la position (θ_m) en phase mécanique.
4. Procédé (1) de résonnance suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel, pour l'initialisation (16) du procédé, on prescrit une fréquence (ω_{in}) circulaire initiale ou on utilise la dernière fréquence (ω_{el}) circulaire électrique connue.
5. Procédé (1) de résonnance suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel la position (θ_m) en phase mécanique est déterminée entre une amplitude (x_a) de la déviation (x) et la vitesse (v) ou comme position en phase entre une amplitude (x_a) de la déviation (x) et la déviation (x).
6. Procédé (1) de résonnance suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel une valeur (13) de consigne d'excitation est un courant (I_S) de consigne et la valeur (14) de consigne d'excitation corrigée est un courant (I_{Sk}) de consigne corrigée.
7. Procédé (1) de résonnance suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel, pour le contrôle (33) de perturbations, on contrôle des perturbations de la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique, lors de la vibration en résonnance de l'unité (4) d'excitation et de la masselotte (3) de vibration.
8. Convertisseur (20), comportant
- un moyen (21) de détection, constitué pour la détection (5) d'une déviation (x) de la masselotte (3) de vibration, dans lequel, pour la détection (5) de la déviation, on détecte un signal (17) de déviation par un dispositif (18) de mesure de la déviation et on corrige, d'une composante continue, le signal (17) de déviation en fonction de l'emplacement de montage du dispositif (18) de mesure de la déviation par rapport à la masselotte (3) de vibration, dans lequel on prescrit la

composante continue par un paramètre (34) de composante continue ou on la détermine par un passe haut (19) de composante continue,
 - un premier moyen (22) de formation, constitué pour la formation (6) d'une vitesse (v) de la masselotte (3) de vibration, au moyen d'une différenciation de la déviation (x),
 - un moyen (23) de production, constitué pour la production (7) d'une position (θ_m) en phase mécanique au moyen de la déviation (x) et de la vitesse (v),
 - un moyen (24) de correction, constitué pour la correction (8) de la position (θ_m) en phase mécanique en une position (θ_k) en phase corrigée au moyen d'une valeur (k_e) de correction,
 - un deuxième moyen (25) de formation, constitué pour la formation (9) d'une fréquence (ω_{el}) circulaire électrique au moyen d'au moins une régulation P sur la base de la position (θ_k) en phase corrigée,
 - un troisième moyen (26) de formation, constitué pour la formation (10) d'une position (θ_{el}) en phase électrique au moyen d'une intégration sur la base de la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique,
 - un quatrième moyen (27) de formation, constitué pour la formation (11) d'un facteur (k_F) de correction au moyen d'une fonction trigonométrique sur la base de la position (θ_{el}) en phase électrique, et
 - un moyen (28) d'application, constitué pour l'application (12) du facteur (k_F) de correction à une valeur (13) de consigne d'excitation pour la production d'une valeur (14) de consigne d'excitation corrigée.

9. Convertisseur (20) suivant la revendication 8, comportant un moyen (35), constitué pour normer (15) la vitesse (v) au moyen de la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique en une vitesse (v_n) normée, la vitesse (v) pouvant être divisée par la fréquence (ω_{el}) circulaire électrique.

10. Convertisseur (20) suivant l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel, pour la correction (8) de la position en phase, il est prévu, comme valeur (k_e) de correction, la position (θ_{el}) en phase électrique de réaction et de préférence la position (θ_{el}) électrique de réaction peut être soustraite de la position (θ_m) en phase mécanique.

11. Unité (4) d'excitation, comportant

- au moins un électroaimant (29) d'excitation de la masselotte (3) de vibration,
 - un convertisseur (20) suivant l'une des revendications 8 à 10 pour le fonctionnement du au moins un électroaimant (29) et

- un dispositif (18) de mesure de la déviation pour mesurer la déviation (x) de la masselotte (3) de vibration par rapport à une position (31) de repos de la masselotte (3) de vibration.

12. Unité (4) d'excitation suivant la revendication 11, comportant au moins un élément (38) de ressort, dans lequel le au moins un élément (38) de ressort est relié à la masselotte (3) de vibration.

13. Système (2) de vibration, comportant une unité (4) d'excitation suivant l'une des revendications 11 ou 12 et la masselotte (3) de vibration.

14. Système (2) de vibration suivant la revendication 13, monté en installation (32) de soudage par friction ou en installation de transport.

FIG 1

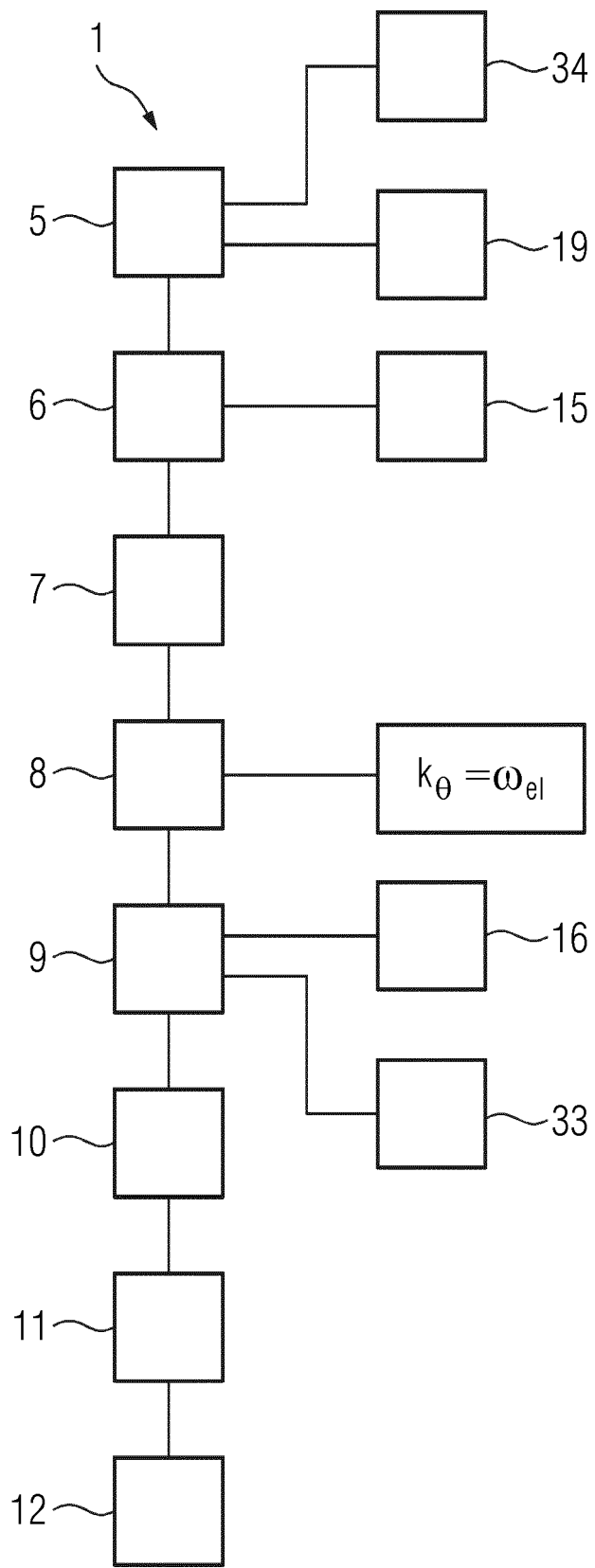
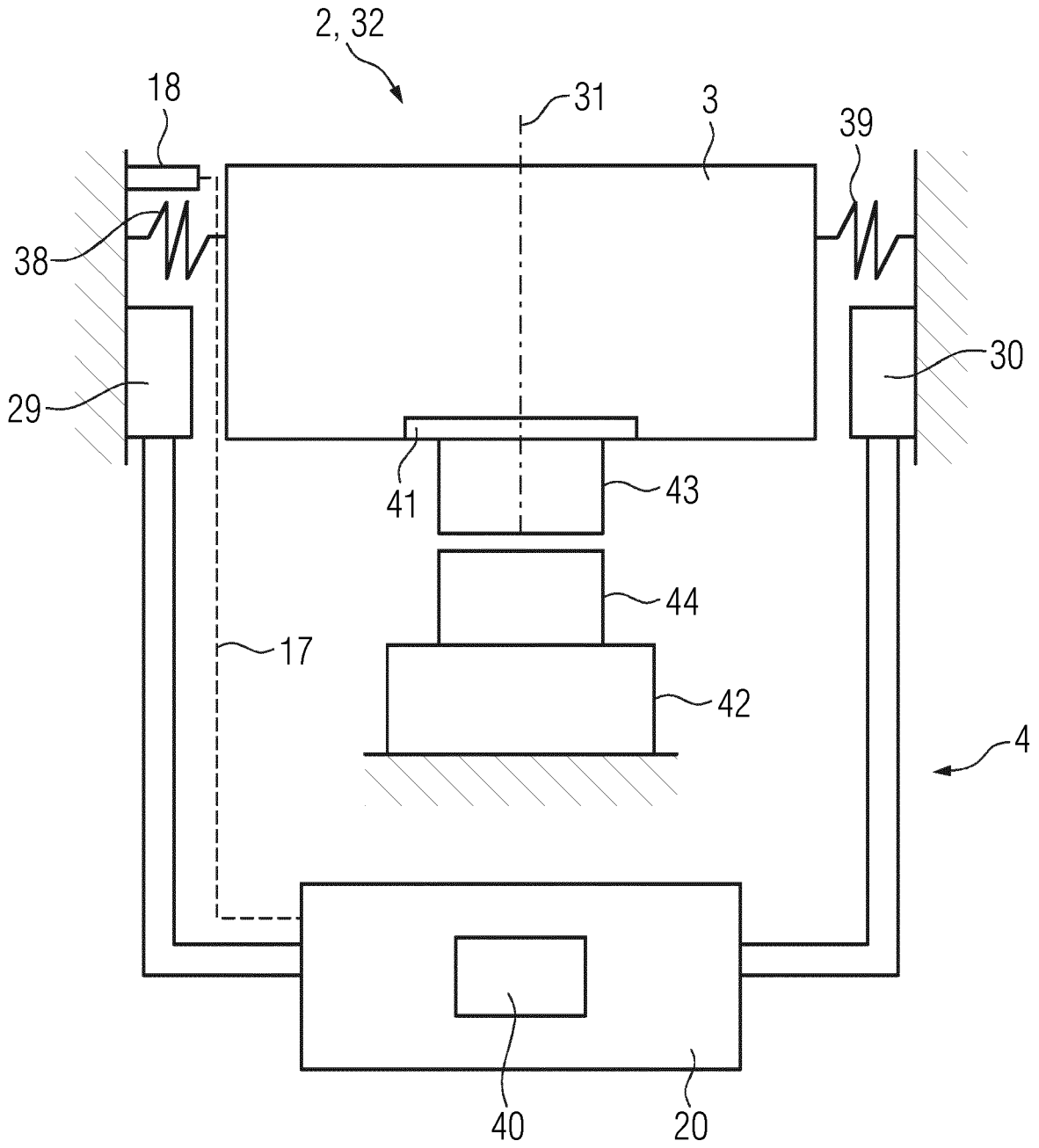


FIG 3



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

- DE 102011119949 A1 [0016]
- US 2019165247 A1 [0017]
- US 7148636 B2 [0018]