

(19)



(11)

EP 1 738 836 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.01.2007 Patentblatt 2007/01

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

(21) Anmeldenummer: **06013098.6**

(22) Anmeldetag: **26.06.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: **Martin Walter Ultraschalltechnik AG**
75334 Straubenhardt (DE)

(72) Erfinder: **Schief, Dieter, Dipl.-Ing.**
76461 Muggensturm (DE)

(74) Vertreter: **Dimmerling, Heinz**
Guntherstrasse 3
76185 Karlsruhe (DE)

(30) Priorität: **01.07.2005 DE 102005030764**

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Einschalten eines Ultraschall-Schwingsystems

(57) Ein Verfahren zum Betreiben eines aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehenden Ultraschall-Schwingsystems 1, bei welchem an den Ultraschall-Schwingsystem 1 zur Erzeugung eines Erregerstroms eine Erregerspannung angelegt wird, deren Frequenz zum Betreiben des Ultraschall-Schwingsystems 1 in einem vorbestimmten Arbeitspunkt AP einstellbar ist, wobei beim Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems 1 die Frequenz ausgehend von einer Startfrequenz f_{start} solange verändert wird, bis der Arbeitspunkt AP erreicht ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass beim Ausschalten des Ultraschall-Schwingsystems 1 die Frequenz der Erregerspannung erfasst wird und der erfasste Wert beim nächsten Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems zur Bestimmung der Startfrequenz

$f_{\text{start-Neu}}$ verwendet wird.

Des weiteren ist eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines Ultraschall-Schwingsystems 1 nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Verstärker 2 mit einem Eingang 2a und einem Ausgang 2b, welcher Ausgang 2b die Erregerspannung sowie den Erregerstrom für den Ultraschall-Schwingsystem 1 liefert, und mit einem Oszillator 3, dessen Frequenz an einem Steuereingang 3a einstellbar ist und dessen Ausgang 3b mit dem Eingang 2a des Verstärkers 2 verbunden ist, sowie einem Rampengenerator 4, welcher an seinem Ausgang 4b eine rampenförmige Ausgangsspannung liefert, und dessen Ausgang 4b mit dem Steuereingang 3a des Oszillators 3 verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Speicher 5 vorhanden ist, zur Speicherung der jeweils letzten Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems 1 vor dem Ausschalten.

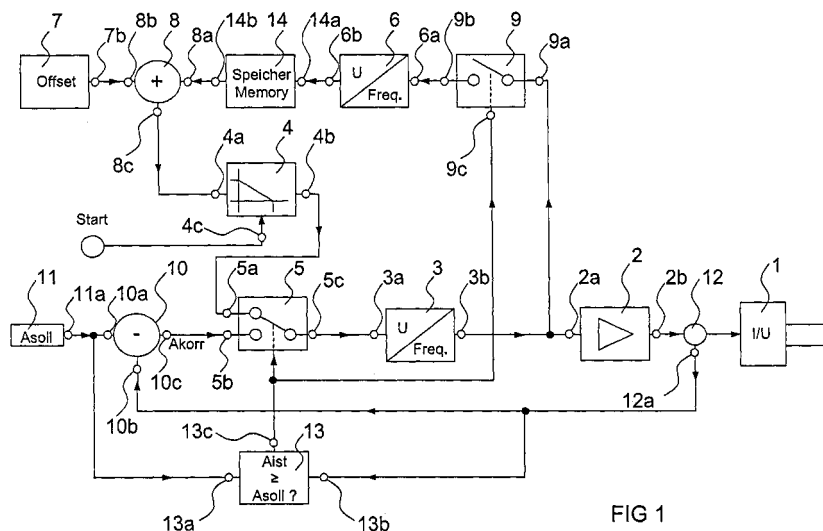


FIG 1

EP 1 738 836 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, zum Betreiben eines aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehenden Ultraschall-Schwingsystems, bei welchem an das Ultraschall-Schwingsystem zur Erzeugung eines Erregerstromes eine Erregerspannung angelegt wird, deren Frequenz zum Betreiben des Ultraschall-Schwingsystems in einem vorbestimmten Arbeitspunkt einstellbar ist, wobei beim Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems die Frequenz ausgehend von einer Startfrequenz solange verändert wird, bis der Arbeitspunkt erreicht ist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Schaltungsanordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 5, zum Betreiben eines Ultraschall-Schwingsystems nach dem zuvor genannten Verfahren.

[0003] Ein derartiges Verfahren sowie eine derartige Schaltungsanordnung sind im Stand der Technik hinlänglich bekannt und werden beispielsweise bei von der Patentanmelderin hergestellten und vertriebenen Ultraschallschweißgeräten angewandt beziehungsweise verwendet.

[0004] Bei Ultraschallschweißgeräten ist es erforderlich, dass der Energieeintrag in ein betreffendes Werkstück konstant ist. Es ist somit insbesondere bei Ultraschallschweißgeräten erforderlich, dass die Schwingungsamplitude des Ultraschall-Schwingsystems konstant ist. Denn der Energieeintrag in ein betreffendes Werkstück hängt von der Schwingungsamplitude ab, die der Schweißkopf ausführt, was heißt, der Energieeintrag in ein betreffendes Werkstück hängt von der Schwingungsamplitude ab, die das Ultraschall-Schwingsystem ausführt. Da die Schwingungsamplitude des Ultraschall-Schwingsystems vom Erregerstrom des aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehenden Ultraschall-Schwingsystems abhängt, wird die Schwingungsamplitude des Ultraschall-Schwingsystems dadurch konstant gehalten, dass der Erregerstrom des Ultraschall-Schwingsystems konstant gehalten wird.

[0005] Um den Erregerstrom steuern zu können, wird das Ultraschall-Schwingsystem nicht in seiner Serienresonanz betrieben sondern regelmäßig mit einer Frequenz, die zwischen der Serienresonanz und der Parallelresonanz des Ultraschall-Schwingsystems liegt. Da sich durch Verändern der Frequenz, mit der das Ultraschall-Schwingsystem betrieben wird, die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems ändert, lässt sich durch Verändern der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems der Strom durch das Ultraschall-Schwingsystem verändern.

[0006] Ändert sich während des Betriebs des Ultraschall-Schwingsystems beispielsweise aufgrund äußerer Einflüsse der Strom durch das Ultraschall-Schwingsystem, wird die Frequenz der an das Ultraschall-Schwingsystem angelegten Erregerspannung solange

verändert, bis der Erregerstrom des Ultraschall-Schwingsystems wieder seinen vorhergehenden Wert erreicht hat.

[0007] Zum Erreichen des Arbeitspunktes wird die Frequenz der Erregerspannung ausgehend von einem Startwert solange verändert, bis der Erregerstrom seinen vorbestimmten Wert erreicht hat. Die Startfrequenz liegt regelmäßig etwa 2 bis 5 Prozent oberhalb der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems und somit regelmäßig auch oberhalb seiner Parallelresonanzfrequenz. Der relativ große Abstand der Startfrequenz vom Arbeitspunkt des Ultraschall-Schwingsystems ist erforderlich, damit gewährleistet ist, dass sich die Startfrequenz auch dann oberhalb der Arbeitspunkt-Frequenz des Ultraschall-Schwingsystems befindet, wenn sich der Arbeitspunkt beispielsweise aufgrund eines Temperaturgangs des Ultraschall-Schwingsystems verändert hat.

[0008] Wird die Frequenz der Erregerspannung verringert, steigt die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems bis zum Erreichen der Parallelresonanzfrequenz an, wodurch sich der Erregerstrom verringert. Nach Überschreiten der Parallelresonanzfrequenz verringert sich die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems, so dass der Erregerstrom ansteigt. Erreicht der Erregerstrom seinen vorbestimmten Wert, befindet sich das Ultraschall-Schwingsystem in seinem Arbeitspunkt, woraufhin die Regelung einsetzt, mittels welcher der Erregerstrom konstant gehalten wird.

[0009] Durch die relativ große Frequenzänderung, die die Erregerspannung beim Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems durchlaufen muss, entsteht eine Verzögerung bis das Ultraschall-Schwingsystem seinen Betriebszustand erreicht hat. Die Zeit bis zum Erreichen des Betriebszustands des Ultraschall-Schwingsystems kann mehrere hundert Millisekunden betragen. Dies ist sehr nachteilig, da sich hierdurch der Schweißvorgang und somit die Zykluszeit eines Ultraschall-Schweißgeräts verlängert.

[0010] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein eingangs genanntes Verfahren beziehungsweise eine eingangs genannte Schaltungsanordnung derart auszubilden, dass sich die Zeit bis zum Erreichen des Arbeitspunktes verringert.

[0011] Die Lösung dieser Aufgabe ergibt sich aus den Merkmalen des kennzeichnenden Teils der Ansprüche 1 und 5. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0012] Gemäß der Erfindung ist ein Verfahren zum Betreiben eines Ultraschall-Schwingsystems, bei welchem an ein aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehendes Ultraschall-Schwingsystem zur Erzeugung eines Erregerstromes eine Erregerspannung angelegt wird, deren Frequenz zum Betreiben des Ultraschall-Schwingsystems in einem vorbestimmten Arbeitspunkt einstellbar ist, wobei beim Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems die Frequenz ausgehend von einer Startfrequenz solange verändert wird, bis der Arbeitspunkt er-

reicht ist, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ausschalten des Ultraschall-Schwingsystems die Frequenz der Erregerspannung erfasst wird und der erfasste Wert beim nächsten Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems zur Bestimmung der Startfrequenz verwendet wird.

[0013] Des Weiteren ist gemäß der Erfindung eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines Ultraschall-Schwingsystems nach dem vorher genannten Verfahren, mit einem Verstärker mit einem Eingang und einem Ausgang, welcher Ausgang die Erregerspannung sowie den Erregerstrom für das Ultraschall-Schwingsystem liefert, und mit einem Oszillator, dessen Frequenz an einem Steuereingang einstellbar ist und dessen Ausgang mit dem Eingang des Verstärkers verbunden ist, sowie einem Rampengenerator, welcher an seinem Ausgang, der mit dem Steuereingang des Oszillators verbunden ist, eine rampenförmige Ausgangsspannung liefert, dadurch gekennzeichnet, dass ein Speicher vorhanden ist, zur Speicherung der letzten Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems vor dem Ausschalten.

[0014] Dadurch, dass die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung einen Speicher aufweist, zur Speicherung der jeweils letzten Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems vor dem Ausschalten, besteht in vorteilhafter Weise die Möglichkeit, den jeweiligen Wert der Frequenz, bei der das Ultraschall-Schwingsystem unmittelbar vor dem Ausschalten, das heißt beim Beenden eines Betriebszyklus betrieben wurde, beim nächsten Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems zu berücksichtigen. Das heißt, die Startfrequenz beim nächsten Betriebszyklus des Ultraschall-Schwingsystems kann so gewählt werden, dass sie sich in unmittelbarer Nähe des Arbeitspunktes befindet. Hierdurch verkürzt sich die Zeit bis zum Erreichen des Arbeitspunktes des Ultraschall-Schwingsystems erheblich. Es ist nicht mehr erforderlich, die Startfrequenz aus Gründen der Betriebssicherheit so zu wählen, dass sie deutlich oberhalb der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems liegt.

[0015] Eine relativ weit oberhalb der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems liegende Startfrequenz muss lediglich dann gewählt werden, wenn das Ultraschall-Schwingsystem längere Zeit nicht in Betrieb war. Das heißt, wird das Ultraschall-Schwingsystem solange nicht betrieben, dass sich der Arbeitspunkt beispielsweise aufgrund eines Temperaturgangs wesentlich verändert haben könnte, wird die Startfrequenz nicht aus dem letzten erfassten Wert der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems gebildet sondern es wird eine Startfrequenz genommen, die einem vorbestimmten Initialisierungswert entspricht. Ein Initialisierungsbetrieb wird somit nicht nur bei der allerersten Inbetriebnahme des Ultraschall-Schwingsystems durchgeführt sondern bei jeder Inbetriebnahme nach einer längeren Pause.

[0016] Beim zyklischen Betrieb des Ultraschall-Schwingsystems hingegen wird die Startfrequenz aus dem jeweils letzten erfassten Wert der Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems gebildet. In vorteilhaf-

ter Weise wird die Startfrequenz aus dem erfassten Wert der Betriebsfrequenz und einem Offset-Frequenzwert gebildet, wie dies bei einer besonderen Ausführungsform der Erfindung vorgesehen ist. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise sichergestellt werden, dass geringfügige Änderungen des Arbeitspunktes während der Stillstandzeit eines Betriebszyklus berücksichtigt werden können. In vorteilhafter Weise beträgt der Offset-Frequenzwert etwa 0,2 Prozent bis 5 Prozent, insbesondere 0,5 Prozent bis 2,6 Prozent, vorzugsweise 1,0 Prozent der Arbeitspunkt-Frequenz. Es hat sich herausgestellt, dass mit einem derartigen Offset-Frequenzwert ein störungsfreier Betrieb gewährleistet werden kann, ohne dass die Startfrequenz zu weit vom Arbeitspunkt abliegt.

[0017] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines besonderen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung.

[0018] Es zeigt

Figur 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung und

Figur 2 den Verlauf der Impedanz eines Ultraschall-Schwingsystems über die Frequenz.

[0019] Wie Figur 1 entnommen werden kann, ist ein aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehendes Ultraschall-Schwingsystem 1 eines Ultraschall-Schweißgeräts mit dem Ausgang 2b eines Verstärkers 2 verbunden. Der Eingang 2a des Verstärkers 2 ist mit dem Ausgang 3b eines Oszillators 3 verbunden. Die Frequenz des Oszillators 3 lässt sich an einem Steuereingang 3a einstellen. Der einstellbare Frequenzbereich erstreckt sich von etwa 15 Kilohertz bis 70 Kilohertz.

[0020] Der Steuereingang 3a des Oszillators 3 ist mit dem Ausgang 5c eines Umschalters 5 verbunden. Der Umschalter 5 ist mittels eines Steuereingangs 5d betätigbar, wobei der Umschalter 5 in einer ersten Stellung den Ausgang 5c mit einem ersten Eingang 5a des Umschalters 5 verbindet. In einer zweiten Stellung des Umschalters 5 ist der Ausgang 5c des Umschalters 5 mit einem zweiten Eingang 5b des Umschalters 5 verbunden.

[0021] Der erste Eingang 5a des Umschalters 5 ist mit Ausgang 4b eines Rampengenerators 4 verbunden. Der Rampengenerator 4 liefert an seinem Ausgang 4b eine rampenförmige Ausgangsspannung, deren Anfangswert an einem Pegeleingang 4a des Rampengenerators 4 eingestellt werden kann. Zum Starten des Rampengenerators 4 ist ein Starteingang 4c vorgesehen.

[0022] Der Pegeleingang 4a des Rampengenerators 4 ist mit dem Ausgang 8c eines Summationsglieds 8 verbunden. Ein erster Eingang 8a des Summationsglieds 8 ist mit dem Ausgang 14b eines Speichers 14 verbunden. Ein zweiter Eingang 8b des Summationsglieds 8 ist mit dem Ausgang 7b eines Offset-Gebers 7 verbunden. Am

Ausgang 8c des Summationsglieds 8 steht die aus den Ausgangssignalen des Speichers 5 und des Offset-Gebers 7 gebildete Summe an.

[0023] Der Eingang 14a des Speichers 14 ist mit dem Ausgang 6b eines Frequenz-/Spannungswandlers 6 verbunden. Der Eingang 6a des Frequenz-/Spannungswandlers 6 ist mit dem Ausgang 9b eines Schalters 9 verbunden. Der Eingang 9a des Schalters 9 ist mit dem Eingang 2a des Verstärkers 2 verbunden. Der Schalter 9 ist mittels eines Steuereingangs 9c betätigbar. Im betätigten Zustand ist der Eingang 9a des Schalters 9 mit dem Ausgang 9b des Schalters 9 verbunden. Das heißt, im betätigten Zustand des Schalters 9 liegt am Eingang 6a des Frequenz-/Spannungswandlers 6 eine Spannung mit der Frequenz an, mit der das Ultraschall-Schwingsystem 1 betrieben wird. Das am Ausgang 6b des Frequenz-/Spannungswandlers 6 anliegende Signal ist proportional der Frequenz der am Eingang 6a des Frequenz-/Spannungswandlers anliegenden Spannung.

[0024] Der zweite Eingang 5b des Umschalters 5 ist mit dem Ausgang 10c eines Subtrahierglieds 10 verbunden. Ein erster Eingang 10a des Subtrahierglieds 10 ist mit dem Ausgang 11a eines Sollwertgebers 11 verbunden. Ein zweiter Eingang 10b des Subtrahierglieds 10 ist mit dem Ausgang 12a eines Stromsensors 12 verbunden. Der Stromsensor 12 erfasst den Ausgangsstrom I des Verstärkers 2 und somit den Erregerstrom I des Ultraschall-Schwingsystems 1.

[0025] Das am Ausgang 10c des Subtrahierglieds 10 anliegende Signal entspricht der Differenz zwischen dem am ersten Eingang 10a des Subtrahierglieds 10 anliegenden Ausgangssignal des Sollwertgebers 11 und dem am zweiten Eingang 10b des Subtrahierglieds 10 anliegenden Ausgangssignal des Stromsensors 12.

[0026] Der Ausgang 11a des Sollwertgebers 11 ist mit einem ersten Eingang 13a eines Vergleichers 13 verbunden. Ein zweiter Eingang 13b des Vergleichers 13 ist mit dem Ausgang 12a des Stromsensors 12 verbunden. Der Vergleich 13 liefert an seinem Ausgang 13c ein Signal zur Betätigung des Umschalters 5 sowie des Schalters 9.

[0027] Ist das am zweiten Eingang 13b des Vergleichers 13 anliegende Signal kleiner als das am ersten Eingang 13a des Vergleichers 13 anliegende Signal ist das am Ausgang 13c des Vergleichers 13 anstehende Signal null, so dass der Schalter 9 nicht betätigt, das heißt geöffnet ist, und der Umschalter 5 in seiner ersten Stellung steht, das heißt der Ausgang 5c des Umschalters 5 mit dem ersten Eingang 5a des Umschalters 5 verbunden ist. Ist das am zweiten Eingang 13b des Vergleichers 13 anstehende Signal gleich oder größer als das am ersten Eingang 13a des Vergleichers 13 anstehende Signal, steht am Ausgang 13c des Vergleichers 13 ein Signal an, so dass der Schalter 9 betätigt ist, das heißt der Eingang 9a des Schalters 9 mit dem Ausgang 9b des Schalters 9 verbunden ist, sowie der Umschalter 5 in seiner zweiten Stellung steht, das heißt, der Ausgang 5c des Umschalters 5 mit dem zweiten Eingang 5b des Umschalters 5 verbunden ist.

[0028] Beim erstmaligen Einschalten der Schaltungsanordnung beziehungsweise beim Einschalten der Schaltungsanordnung nach einer längeren Pause liegt am Ausgang 5b des Speichers 5 ein Initialisierungswert an, welcher in einem ersten Speicherbereich des Speichers 5 gespeichert ist. Der Initialisierungswert ist so gewählt, dass der Anfangswert der rampenförmigen Ausgangsspannung des Rampengenerators 4 den Oszillator 3 so einstellt, dass er eine Spannung abgibt, deren Frequenz etwa fünf Prozent oberhalb der Nenn-Serienresonanzfrequenz f_{sr} des Ultraschall-Schwingsystems 1 liegt und damit auch oberhalb der Parallelresonanzfrequenz f_{pr} des Ultraschall-Schwingsystems 1 liegt. Diese Frequenz ist in Figur 2 mit f_{start} bezeichnet.

[0029] Wie Figur 2 entnommen werden kann, ist der Widerstand Z des Ultraschall-Schwingsystems 1, dessen Verlauf in Figur 2 durch die Kurve K dargestellt ist, bei dieser Frequenz f start größer als bei der Arbeitspunktfrequenz f_{AP} .

[0030] Der mittels des Stromsensors 12 erfasste Erregerstrom ist somit kleiner als der Sollwert des Erregerstroms, der beim Betrieb des Ultraschall-Schwingsystems 1 im Arbeitspunkt AP durch den Ultraschall-Schwingsystem 1 fließt. Dementsprechend ist das am zweiten Eingang 13b des Vergleichers 13 anliegende Signal kleiner als das am ersten Eingang 13a des Vergleichers 13 anliegende Signal, so dass das am Ausgang 13c des Vergleichers 13 anstehende Signal null ist. Der Umschalter 5 steht somit in seiner ersten Stellung, das heißt der erste Eingang 5a des Umschalters 5 ist mit dem Ausgang 5c des Umschalters 5 verbunden, so dass das am Ausgang 4b des Rampengenerators 4 anstehende Signal am Eingang 3a des Oszillators 3 ansteht.

[0031] Da sich das Ausgangssignal des Rampengenerators 4 kontinuierlich verringert, verringert sich auch die Frequenz des Oszillators 3. Dies bewirkt zunächst, dass die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems 1 zunimmt, wodurch sich der Erregerstrom weiter verringert, so dass sich am Zustand der Schaltungsanordnung zunächst nichts ändert. Nach Unterschreiten der Parallel-Resonanzfrequenz f_{pr} nimmt die Impedanz Z des Ultraschall-Schwingsystems 1 jedoch stark ab, wodurch der Erregerstrom ansteigt. Erreicht der Erregerstrom seinen Sollwert, das heißt, entspricht das am zweiten Eingang 13b des Vergleichers 13 anstehende Signal dem am ersten Eingang 13a des Vergleichers 13 anstehenden Signal, das heißt dem Ausgangssignal des Sollwertgebers 11, wird am Ausgang 13c des Vergleichers 13 ein Signal ausgegeben, welches verursacht, dass der Umschalter 5 sowie der Schalter 9 betätigt werden.

[0032] Durch die Betätigung des Umschalters 5 ist der zweite Eingang 5b des Umschalters 5 mit dem Ausgang 5c des Umschalters 5 verbunden. Dies bewirkt, dass ein geschlossener Regelkreis vorhanden ist, wodurch der vom Stromsensor 12 erfasste Erregerstrom auf den vom Sollwertgeber 11 vorgegebenen Wert geregelt wird. Diese Regelung entspricht einer allgemein bekannten Stromregelung und wird daher nicht näher erläutert.

[0033] Durch die Betätigung des Schalters 9 wird der Eingang 9a des Schalters 9 mit dem Ausgang 9b des Schalters 9 verbunden. Hierdurch steht am Eingang 6a des Frequenz-/Spannungswandlers 6 die Ausgangsspannung des Oszillators 3 an. Ein der Frequenz dieser Spannung entsprechender Wert wird kontinuierlich in einen zweiten Speicherbereich des Speichers 5 geschrieben. Hierdurch wird erreicht, dass beim Öffnen des Schalters 9 im zweiten Speicherbereich des Speichers 5 ein Wert vorhanden ist, der der Frequenz entspricht, die die Ausgangsspannung des Oszillators 3 beim Öffnen des Schalters 9 gehabt hat. Das heißt, wird das Ultraschall-Schwingsystem 1 ausgeschaltet, wodurch der Schalter 9 geöffnet wird, ist im zweiten Speicherbereich des Speichers 5 ein Signal gespeichert, welches der Frequenz entspricht, mit der das Ultraschall-Schwingsystem 1 beim Ausschalten betrieben wurde.

[0034] Bei einem zyklischen Betrieb des Ultraschall-Schwingsystems 1 beziehungsweise sofern keine größere zeitliche Verzögerung auftritt wird beim nächsten Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems 1 am Ausgang 5b des Speichers 5 der Wert ausgegeben, der in dem zweiten Speicherbereich des Speichers 5 gespeichert ist. Zu diesem Wert wird im Summationsglied 8 der Ausgangswert des Offset-Gebers 7 addiert. Hierdurch liegt am Eingang 4a des Rampengenerators 4 ein Wert an, der bewirkt, dass der Anfangswert der rampenförmigen Ausgangsspannung des Rampengenerators 4 den Oszillator 3 so einstellt, dass dieser eine Spannung abgibt, deren Frequenz $f_{\text{start-Neu}}$ um einen Offset-Wert Δf größer ist als die Frequenz, mit der das Ultraschall-Schwingsystem 1 beim vorangegangenen Ausschalten betrieben wurde.

[0035] Da die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems 1 bei dieser Frequenz $f_{\text{start-Neu}}$ größer ist als im Arbeitspunkt AP, ist der Erregerstrom kleiner als sein Sollwert. Somit liegt am Ausgang 13c des Vergleichers 13 kein Signal an, so dass sich der Umschalter 5 in seiner ersten Stellung befindet, was heißt, dass der Ausgang 4b des Rampengenerators 4 mit dem Eingang 3a des Oszillators 3 verbunden ist. Entsprechend dem Ausgangssignal des Rampengenerators 4 verringert sich die Frequenz des Oszillators 3, wodurch die Impedanz des Ultraschall-Schwingsystems 1 abnimmt, so dass der Erregerstrom ansteigt. Erreicht der Erregerstrom seinen Sollwert, gibt der Vergleichs 13 an seinem Ausgang 13c ein Signal aus, welches verursacht, dass der Schalter 5 sowie der Schalter 9 betätigt werden. Der weitere Verlauf entspricht dem weiter oben beschriebenen Verlauf.

[0036] Da die neue Startfrequenz $f_{\text{start-Neu}}$ lediglich geringfügig oberhalb der Arbeitspunkt-frequenz f_{ap} liegt, wird der Arbeitspunkt erheblich früher erreicht, als bei einem Beginn mit der ursprünglichen Startfrequenz f_{start} .

[0037] Dadurch, dass das Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems 1 mit einer Frequenz erfolgt, die sich an der Frequenz orientiert, mit der das Ultraschall-Schwingsystem 1 unmittelbar zuvor betrieben wurde,

wird in vorteilhafter Weise beispielsweise auch ein Temperaturgang des Ultraschall-Schwingsystems 1 berücksichtigt, ohne dass hierzu besondere Maßnahmen erforderlich sind. Wie in Figur 2 dargestellt ist, kann sich die Kennlinie K des Ultraschall-Schwingsystems 1 beispielsweise aufgrund von Temperatureinflüssen verschieben. So kann sie sich so verschieben, dass die Serien-Resonanzfrequenz nach oben wandert, wie dies durch die Kurve K' dargestellt ist, oder nach unten wandert, wie dies durch die Kurve K'' dargestellt ist. In jedem Fall wird als Startfrequenz $f_{\text{start-Neu}}$ ein Wert genommen, der geringfügig oberhalb der letzten Arbeitspunktfrequenz f_{ap} liegt. Das heißt, das Ultraschall-Schwingsystem 1 wird stets in unmittelbarer Nähe seines Arbeitspunktes eingeschaltet, unabhängig davon, ob sich der Arbeitspunkt während des vorangegangenen Betriebs verschoben hat.

20 Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines aus einem Ultraschall-Schwinger und diesen zu einem Schwingkreis ergänzenden Komponenten bestehenden Ultraschall-Schwingsystems (1), bei welchem an das Ultraschall-Schwingsystem (1) zur Erzeugung eines Erregerstroms eine Erregerspannung angelegt wird, deren Frequenz zum Betreiben des Ultraschall-Schwingsystems (1) in einem vorbestimmten Arbeitspunkt (AP) einstellbar ist, wobei beim Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems (1) die Frequenz ausgehend von einer Startfrequenz (f_{start}) solange verändert wird, bis der Arbeitspunkt (AP) erreicht ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass beim Ausschalten des Ultraschall-Schwingsystems (1) die Frequenz der Erregerspannung erfasst wird und der erfasste Wert beim nächsten Einschalten des Ultraschall-Schwingsystems zur Bestimmung der Startfrequenz ($f_{\text{start-Neu}}$) verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Startfrequenz ($f_{\text{start-Neu}}$) aus dem erfassten Wert und einem Offset-Frequenzwert gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei einem Initialisierungsbetrieb des Ultraschall-Schwingsystems (1) die Startfrequenz (f_{start}) einem vorbestimmten Initialisierungswert entspricht.
4. Schaltungsanordnung zum Betreiben eines Ultraschall-Schwingsystems (1) nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Verstärker (2) mit einem Eingang (2a) und einem Ausgang (2b), welcher Ausgang (2b) die Erre-

gerspannung sowie den Erregerstrom für den Ultraschall-Schwingsystem (1) liefert, und mit einem Oszillator (3), dessen Frequenz an einem Steuereingang (3a) einstellbar ist und dessen Ausgang (3b) mit dem Eingang (2a) des Verstärkers (2) verbunden ist, sowie einem Rampengenerator (4), welcher an seinem Ausgang (4b) eine rampenförmige Ausgangsspannung liefert, und dessen Ausgang (4b) mit dem Steuereingang (3a) des Oszillators (3) verbunden ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Speicher (5) vorhanden ist, zur Speicherung der jeweils letzten Betriebsfrequenz des Ultraschall-Schwingsystems (1) vor dem Ausschalten.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Ausgangssignal des Speichers (5) den Startwert des Rampengenerators (4) bildet.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Offset-Geber (7) vorhanden ist, dessen Ausgangssignal dem Ausgangssignal des Speichers (5) zugeschlagen wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

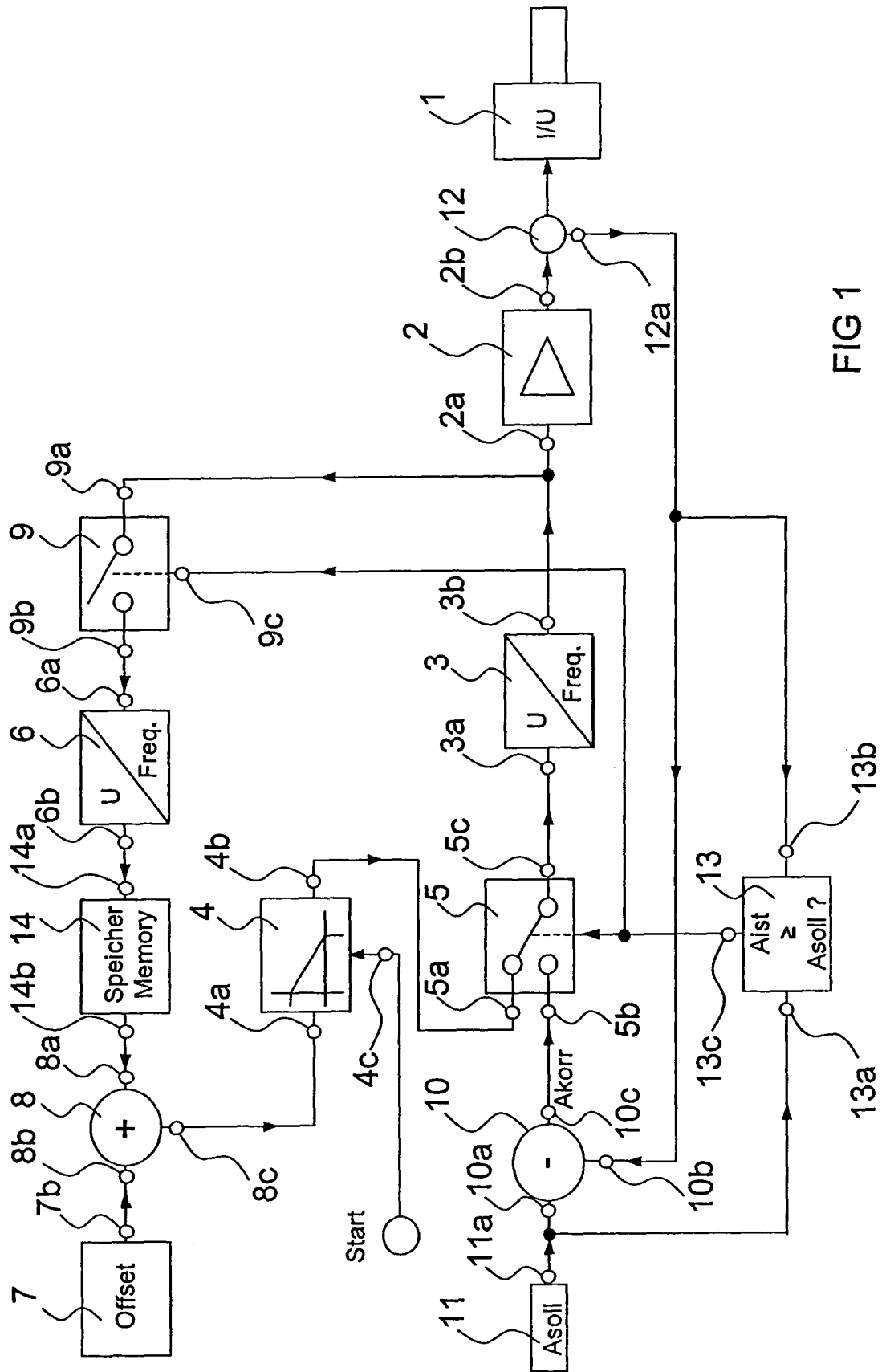


FIG 1

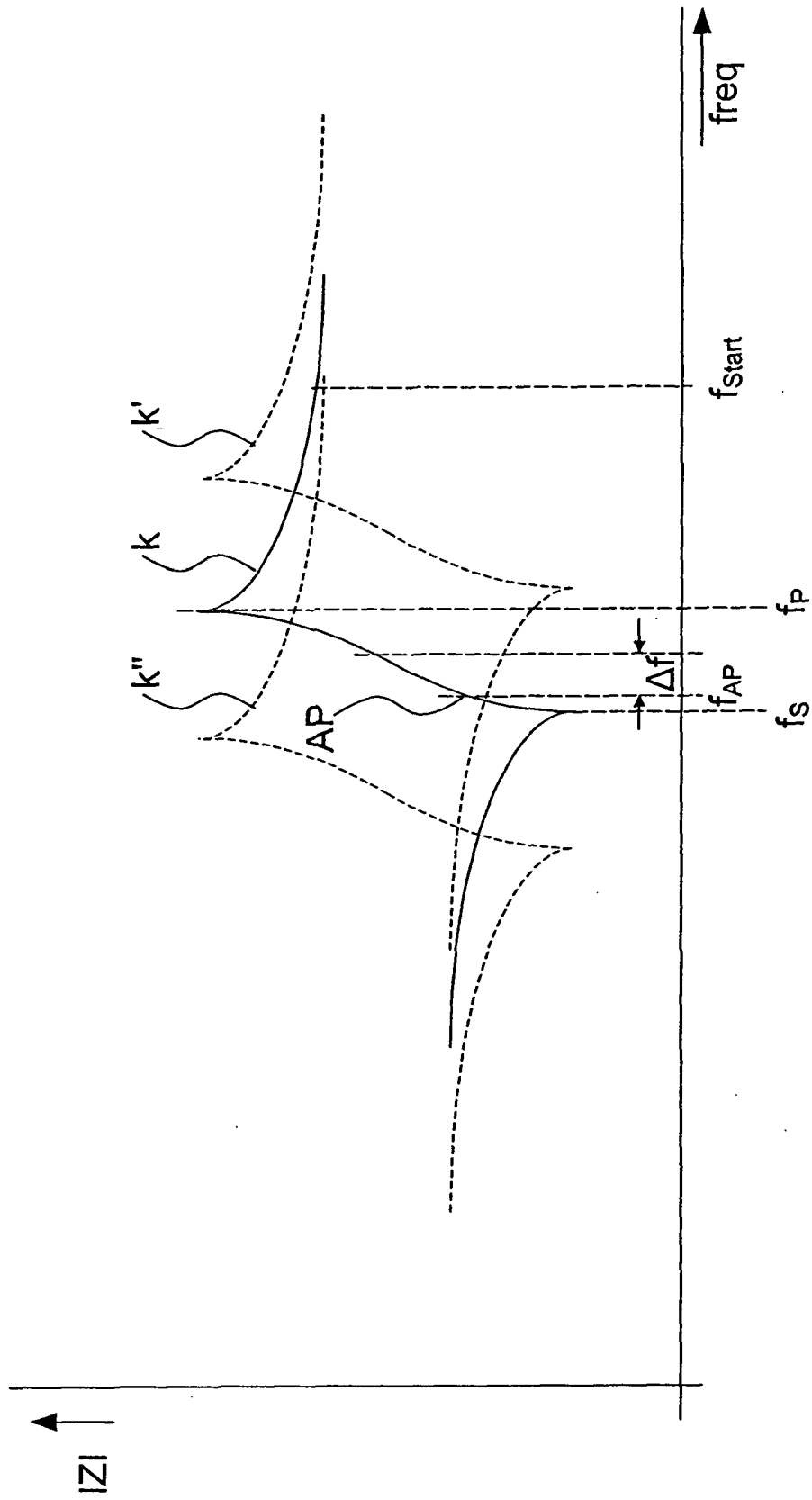


FIG 2