

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 89107994.9

51 Int. Cl.4: **B06B 1/02**

22 Anmeldetag: 03.05.89

30 Priorität: 03.05.88 DE 3815007

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.11.89 Patentblatt 89/48

64 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE ES FR GB IT LI NL

71 Anmelder: **Endress u. Hauser GmbH u. Co.**
Hauptstrasse 1
D-7864 Maulburg(DE)

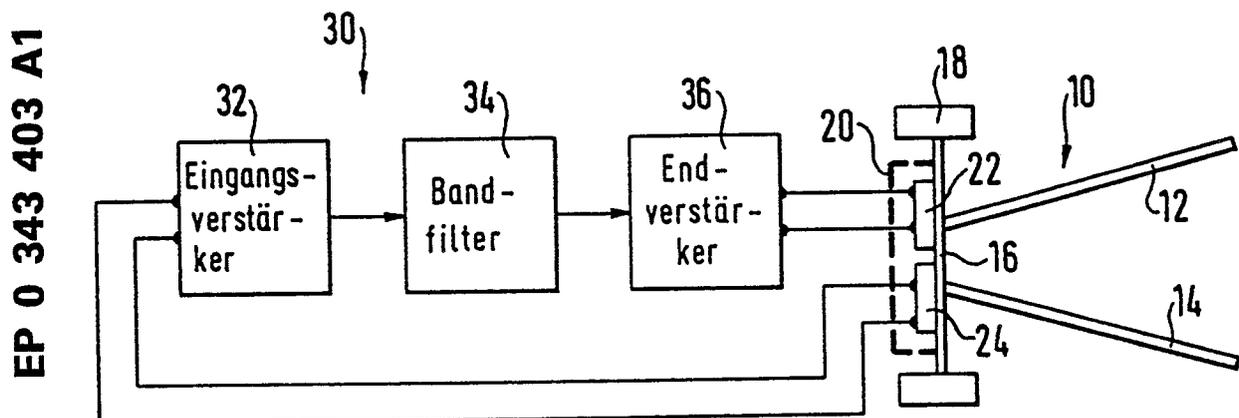
72 Erfinder: **Pfändler Martin**
Schlossstrasse, 12
7853 Steinen(DE)

74 Vertreter: **Leiser, Gottfried, Dipl.-Ing. et al**
Patentanwälte Prinz, Leiser, Bunke & Partner
Manzingerweg 7
D-8000 München 60(DE)

54 **Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems zu Eigenresonanzschwingungen.**

57 Die Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems (10) zu Eigenresonanzschwingungen enthält ein elektromechanisches Wandlersystem (20), das im Rückkopplungskreis einer elektronischen Verstärkerschaltung (30) angeordnet ist, so daß es durch die Ausgangswechselspannung der Verstärkerschaltung (30) zu mechanischen Schwingungen angeregt wird und zum Eingang der Verstärkerschaltung (30) eine Wechselspannung mit der Frequenz der mechanischen Schwingungen liefert. Die Verstärkerschaltung (30) weist eine nichtlineare Verstärkungskennlinie auf, die bei kleinen Werten des Eingangssignals eine größere Verstärkung als bei größeren Werten des Eingangssignals ergibt. Dadurch ist ein sicheres Anschwingen auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen gewährleistet, während andererseits die Gefahr von Fehlanzeigen des Schwingungszustands, beispielsweise infolge von Fremdvibrationen, verringert ist.

FIG. 1



EP 0 343 403 A1

Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems zu Eigenresonanzschwingungen

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems zu Eigenresonanzschwingungen mit einem elektromechanischen Wandlersystem, das im Rückkopplungskreis einer elektronischen Verstärkerschaltung angeordnet ist, so daß es durch die Ausgangswechselspannung der Verstärkerschaltung zu mechanischen Schwingungen angeregt wird und zum Eingang der Verstärkerschaltung eine Wechselspannung mit der Frequenz der mechanischen Schwingungen liefert.

5 Auf verschiedenen Anwendungsgebieten von mechanischen Schwingensystemen verursacht diese bekannte Art der Selbsterregung von Eigenresonanzschwingungen Probleme. Dies gilt beispielsweise für mechanische Schwingensysteme mit schwingenden Stäben, die als Sensoren zur Feststellung des Erreichens eines vorbestimmten Füllstands in einem Behälter verwendet werden, wobei die Tatsache ausgenutzt wird, daß die Schwingungen beim Eintauchen des Sensors in das Füllgut infolge der starken Dämpfung aussetzen, während das Wiedereinsetzen der Schwingungen anzeigt, daß der Füllstand unter die Einbauhöhe des Sensors gefallen ist. Wird bei einer solchen Anwendung der Sensor im Prozeßbehälter hohen Temperaturen ausgesetzt, so kann sich dadurch der Übertragungsfaktor des Sensors so stark ändern, daß er nicht mehr anschwingen kann, wodurch es zu einer Fehlanzeige des Füllstands kommt. In gleicher Weise wirken sich stark zur Ansatzbildung neigende Füllgüter (z.B. Kalk, Mehl) aus: Bei starker Ansatzbildung kann der Sensor nicht mehr anschwingen, so daß fälschlich angezeigt wird, daß der Sensor bedeckt ist, obwohl er in Wirklichkeit nicht in das Füllgut eintaucht und nur mit Ansatz bedeckt ist.

Wenn zur Vermeidung der zuvor geschilderten Probleme die Verstärkung der Verstärkerschaltung erhöht wird, wird die Fremdvibrationsempfindlichkeit zu groß. Dies bedeutet, daß bei bedecktem Sensor Vibrationen am Behälter, die beispielsweise durch Rüttler oder vorbeiströmendes Füllgut verursacht werden, Ausgangsspannungen der Verstärkerschaltung verursachen können, die vortäuschen, daß der Sensor nicht bedeckt ist und Eigenresonanzschwingungen ausführt, wobei dann fälschlicherweise ein zu niedriger Füllstand angezeigt wird.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems, die mit geringem Schaltungsaufwand ein sicheres Anschwingen auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen gewährleistet und die Gefahr von Fehlanzeigen des Schwingungszustands verringert.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die Verstärkerschaltung eine nichtlineare Verstärkungskennlinie aufweist, die bei kleinen Werten des Eingangssignals eine größere Verstärkung als bei größeren Werten des Eingangssignals ergibt.

Die nach der Erfindung ausgeführte Schaltungsanordnung besitzt bei kleinen Werten des Eingangssignals der Verstärkerschaltung eine hohe Ansprechempfindlichkeit, so daß schon durch schwache Störeffekte, z.B. leichte Fremdvibrationen, thermisches Rauschen oder ähnliche Störeffekte, ein Anschwingen ausgelöst wird, das sich schnell aufschaukelt. Dagegen ist bei größeren Werten des Eingangssignals die Eingangsempfindlichkeit herabgesetzt, so daß eine gute Unempfindlichkeit für Fremdvibrationen erreicht wird. Wenn die Schaltungsanordnung beispielsweise bei einem Füllstandssensor der zuvor geschilderten Art verwendet wird, weist dieser ein sehr gutes Anschwingverhalten in einem großen Temperaturbereich und eine sehr große Ansatzverträglichkeit bei gleichzeitiger großer Unempfindlichkeit gegenüber Fremdvibrationen auf.

Die erforderliche nichtlineare Verstärkungskennlinie kann mit geringem Schaltungsaufwand erzielt werden, denn es genügt bereits eine zweistufige Verstärkung, die von einem großen Wert auf einen kleineren Wert übergeht, wenn die Größe des Eingangssignals einen vorbestimmten Schwellenwert übersteigt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, das in der Zeichnung dargestellt ist. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 das Blockschaltbild der Schaltungsanordnung zur Erregung eines mechanischen Schwingensystems zu Eigenresonanzschwingungen,

50 Fig. 2 das Schaltbild einer Ausführungsform des Eingangsverstärkers der Schaltungsanordnung von Fig. 1,

Fig. 3 Diagramme zur Erläuterung der Funktionsweise des Eingangsverstärkers von Fig. 2,

Fig. 4 das Schaltbild einer anderen Ausführungsform des Eingangsverstärkers von Fig. 2 und

Fig. 5 Diagramme zur Erläuterung der Funktionsweise des Eingangverstärkers von Fig. 4.

Fig. 1 zeigt als Beispiel für ein mechanisches Schwingssystem, das zu Schwingungen mit der Eigenresonanzfrequenz angeregt werden soll, einen Füllstandssensor 10 mit zwei Schwingstäben 12, 14. Die Schwingstäbe werden in gegenphasige Biegeschwingungen versetzt, die beim Eintauchen der Stäbe in das Füllgut so stark gedämpft werden, daß die Schwingungen aussetzen, wodurch festgestellt werden kann, daß das Füllgut einen vorbestimmten Füllstand erreicht hat, während umgekehrt das Wiedereinsetzen der Schwingungen anzeigt, daß der Füllstand wieder unter die zu überwachende Höhe gefallen ist. Die Schwingstäbe, 12, 14 sind jeweils mit einem Ende an einer Membran 16 befestigt, die am Rand in einer Halterung 18 eingespannt ist.

Zur Erzeugung der Eigenresonanzschwingungen des mechanischen Schwingensystems 10 ist mit der Membran 16 ein elektromechanisches Wandler-System 20 verbunden, das einen Sendewandler 22 und einen Empfangswandler 24 aufweist. Der Sendewandler 22 ist an den Ausgang einer Verstärkerschaltung 30 angeschlossen und so ausgebildet, daß er eine von der Verstärkerschaltung 30 gelieferte elektrische Wechselspannung (bzw. einen elektrischen Wechselstrom) in eine mechanische Schwingung umsetzt, die auf die Membran 16 und auf die Schwingstäbe 12, 14 übertragen wird. Der Empfangswandler 24 ist mit dem Eingang der Verstärkerschaltung 30 verbunden und so ausgebildet, daß er die mechanische Schwingung des Schwingensystems 10 in eine elektrische Wechselspannung der gleichen Frequenz umsetzt. Diese Eingangswchselspannung wird von der Verstärkerschaltung verstärkt, und die dadurch erhaltene verstärkte Ausgangswchselspannung der gleichen Frequenz wird an den Sendewandler 22 angelegt. Es ist unmittelbar zu erkennen, daß das mechanische Schwingensystem auf diese Weise in einem selbsterregenden Rückkopplungskreis der Verstärkerschaltung 30 liegt, in welchem es das frequenzbestimmende Glied bildet, so daß es zu Schwingungen mit seiner Eigenresonanzfrequenz angeregt wird.

Die elektromechanischen Wandler 22, 24 können von beliebiger, an sich bekannter Art sein, beispielsweise elektromagnetische oder elektrodynamische Wandler mit Spulen, magnetostruktive Wandler, piezoelektrische Wandler oder dergleichen. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel ist angenommen, daß es sich um piezoelektrische Wandler handelt, die in bekannter Weise einen zwischen zwei Elektroden angeordneten Piezokristall enthalten, der eine Formänderung erfährt, wenn eine elektrische Spannung an die beiden Elektroden angelegt wird, und der umgekehrt bei einer mechanisch erzwungenen Formänderung eine elektrische Spannung zwischen den beiden Elektroden erzeugt. Der Sendewandler 22 und der Empfangswandler 24 können daher von gleicher Bauart sein.

Die Verstärkerschaltung 30 enthält einen Eingangverstärker 32, dessen Eingangsklemmen mit den beiden Elektroden des Empfangswandlers 24 verbunden sind, ein an den Ausgang des Eingangverstärkers 32 angeschlossenes Bandfilter 34 und einen Endverstärker 36, an dessen Ausgangsklemmen die beiden Elektroden des Sendewandlers 22 angeschlossen sind. Das Bandfilter 34 ist auf die zu erregende Eigenresonanzfrequenz des elektromechanischen Schwingensystems 10 abgestimmt, so daß die elektrische Wechselspannung mit dieser Frequenz selektiv verstärkt wird. Hierbei kann es sich um die Frequenz der Grundschwingung oder auch um die Frequenz einer Oberschwingung der Eigenresonanz des mechanischen Schwingensystems 10 handeln.

Die Besonderheit der Verstärkerschaltung 30 besteht darin, daß ihre Verstärkungskennlinie in Abhängigkeit von der Größe des Eingangssignals derart nichtlinear ist, daß die Verstärkung bei kleinen Amplituden des Eingangssignals größer als bei großen Amplituden ist. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird diese nichtlineare Verstärkungskennlinie der Verstärkerschaltung 30 dadurch erreicht, daß der Eingangverstärker 32 mit nichtlinearer Verstärkung ausgebildet ist.

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform des Eingangverstärkers 32, die mit besonders einfachen Mitteln die gewünschte nichtlineare Verstärkungskennlinie ergibt. Der Eingangverstärker 32 ist als Differenzverstärker mit einem Operationsverstärker 40 ausgebildet. Die beiden Eingänge des Operationsverstärkers 40 sind über gleiche Widerstände 41, 42 des Widerstandswerts R_1 mit den beiden Elektroden des Empfangswandlers 24 verbunden, so daß die Spannung zwischen diesen Elektroden die Eingangsspannung U_e des Differenzverstärkers bildet. In dem vom Ausgang zum invertierenden Eingang führenden Rückkopplungszweig des Operationsverstärkers 40 liegen zwei Widerstände 43, 44 mit den Widerstandswerten R_2 bzw. R_3 in Serie, und zwei weitere Widerstände 45, 46 mit den gleichen Widerstandswerten R_2 bzw. R_3 sind in Serie zwischen dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 40 und Masse angeschlossen. Dem Widerstand 44 sind zwei Halbleiterdioden 47, 48 gegensinnig parallelgeschaltet, und in entsprechender Weise sind zwei weitere Halbleiterdioden 49, 50 dem Widerstand 46 gegensinnig parallelgeschaltet.

Der in Fig. 2 dargestellte Differenzverstärker ergibt die folgende Wirkungsweise:

Wenn das mechanische Schwingensystem 10 beim Einschalten des Geräts in Ruhe ist, gibt der Empfangswandler 24 zunächst nur sehr kleine Spannungen ab, die durch leichte Fremdvibrationen,

thermisches Rauschen und ähnliche Störeffekte verursacht werden. Diese kleinen Spannungen werden vom Differenz-Eingangsverstärker 32 verstärkt. Solange wie die dadurch erzeugte Ausgangsspannung U_a des Differenz-Eingangsverstärkers so klein ist, daß die Spannungsabfälle an den Widerständen 44 und 46 kleiner sind als die Durchlaßspannung der Halbleiterdioden 47, 48, 49, 50 (die bei Silicium-Dioden etwa 0,6 V beträgt), sperren die Halbleiterdioden in beiden Richtungen, und die Widerstände 44 und 46 sind voll wirksam. Für so kleine Eingangssignale beträgt der Verstärkungsfaktor V des Differenz-Eingangsverstärkers 32

$$V_1 = 1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1} \quad (1)$$

Diejenigen Komponenten der Ausgangsspannung U_a , deren Frequenzen im Durchlaßbereich des Bandfilters 34 liegen, gelangen zum Endverstärker 36, von dem sie mit linearer Verstärkung weiter verstärkt werden. Die so verstärkten Signalkomponenten werden vom Sendewandler 22 in mechanische Schwingungen umgewandelt, die das mechanische Schwingssystem 10 zu einer Eigenresonanzschwingung anregen. Diese Eigenresonanzschwingung wird vom Empfangswandler 24 in eine elektrische Wechselfrequenz umgewandelt, die dem Eingang des Differenz-Eingangsverstärkers 32 zugeführt und von diesem in der zuvor beschriebenen Weise verstärkt wird. Auf diese Weise schaukeln sich die Schwingungen des mechanischen Schwingensystems 10 auf.

Wenn bei diesem Einschwingvorgang die Spannung U_a am Ausgang des Differenz-Eingangsverstärkers 32 so groß wird, daß die Spannungsabfälle an den Widerständen 44 und 46 größer als die Durchlaßspannung der Halbleiterdioden 47, 48 bzw. 49, 50 wird, werden die Halbleiterdioden durchlässig, so daß sie die Widerstände 44 und 46 kurzschließen. Der Verstärkungsfaktor V des Differenz-Eingangsverstärkers 32 beträgt dann

$$V_2 = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

Das Diagramm A von Fig. 3 zeigt diese Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors V von der Eingangsspannung U_e und das Diagramm B von Fig. 3 zeigt den dadurch erzielten Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a des Differenz-Eingangsverstärkers 32. Bei Werten der Eingangsspannung U_e , die kleiner als ein Wert U_{e1} sind, ist die Ausgangsspannung U_a durch den konstanten Verstärkungsfaktor V_1 bestimmt, so daß sie mit verhältnismäßig großer Steilheit der Eingangsspannung U_e proportional ist. In diesem Bereich besitzt die Verstärkerschaltung 30 eine große Eingangsempfindlichkeit, so daß selbst bei schwachen Störeffekten sowie bei temperaturbedingten Änderungen des Übertragungsfaktors und bei Ansatzbildungen an den Schwingstäben 12, 14 ein sicheres Anschwingen gewährleistet ist.

Bei dem Wert U_{e1} der Eingangsspannung U_e erreicht die Ausgangsspannung U_a infolge der Verstärkung mit dem Verstärkungsfaktor V_1 einen Wert U_{a1} , der gleich der Durchlaßspannung der Halbleiterdioden 47, 48, 49, 50 ist. Bei Werten der Eingangsspannung U_e , die größer als der Wert U_{e1} sind, hat daher der Verstärkungsfaktor V den kleineren Wert V_2 , so daß die Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von der Eingangsspannung U_e weniger steil ansteigt. In diesem Bereich, in welchem keine Anschwingprobleme bestehen, ist daher die Eingangsempfindlichkeit der Verstärkerschaltung herabgesetzt, so daß Spannungen, die durch Störvibrationen erzeugt werden, nicht Werte erreichen können, die eine Resonanzschwingung des mechanischen Schwingensystems 10 vortäuschen.

Wenn schließlich die Eingangsspannung U_e einen Wert U_{e2} erreicht, bei welchem die Ausgangsspannung U_a den durch die Stromversorgungsspannung bedingten Höchstwert U_B hat, geht der Differenz-Eingangsverstärker 32 in die Sättigung, so daß ein weiterer Anstieg der Eingangsspannung U_e keine Erhöhung der Ausgangsspannung U_a mehr zur Folge hat.

Die geschilderten Wirkungen werden mit einem sehr geringen zusätzlichen Schaltungsaufwand erreicht. Gegenüber einem Differenz-Eingangsverstärker mit linearer Verstärkung beschränkt sich der Mehraufwand auf die beiden Widerstände 44, 46 und die vier Halbleiterdioden 47, 48, 49, 50.

Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform des Differenz-Eingangsverstärkers 32, die ebenfalls die gewünschte

nichtlineare Verstärkungskennlinie ergibt. Bei dieser Ausführungsform besteht der Eingangsverstärker 32 aus zwei Verstärkerstufen. Die erste Verstärkerstufe entspricht dem Eingangsverstärker von Fig. 2 mit dem einzigen Unterschied, daß die Widerstände 44 und 46 mit den dazu gegensinnig parallelgeschalteten Halbleiterdioden 47, 48 bzw. 49, 50 fortgelassen sind. Die übrigen Bestandteile dieser Verstärkerstufe, die denjenigen des Eingangsverstärkers von Fig. 2 entsprechen, sind mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 2 bezeichnet. Wie in Fig. 2 sind die beiden Elektroden des Empfangswandlers 24 über gleiche Widerstände 41, 42 des Widerstandswerts R_1 mit den beiden Eingängen des Operationsverstärkers 40 verbunden, so daß die Spannung zwischen diesen Elektroden die Eingangsspannung U_e des Differenzverstärkers bildet. Da nunmehr im Rückkopplungskreis des Operationsverstärkers 40 sowie in dem vom nichtinvertierenden Eingang nach Masse führenden Schaltungszweig nur noch die unveränderlichen Widerstände 43 bzw. 45 des Widerstandswerts R_2 liegen, hat diese Verstärkerstufe den konstanten Verstärkungsfaktor

$$V_I = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Somit wird am Ausgang des Operationsverstärkers 40 die Spannung $U_a' = U_e \cdot V_I$ (4) abgegeben.

Die zweite Verstärkerstufe enthält einen Operationsverstärker 60, dessen nichtinvertierender Eingang an den Ausgang der ersten Verstärkerstufe angeschlossen ist, so daß die Ausgangsspannung U_a' der ersten Verstärkerstufe die Eingangsspannung der zweiten Verstärkerstufe bildet, deren Ausgangsspannung U_a zugleich die Ausgangsspannung des Eingangsverstärkers 32 darstellt. In dem zum invertierenden Eingang führenden Rückkopplungskreis des Operationsverstärkers 60 liegt ein Widerstand 61 mit dem Widerstandswert R_4 . Ferner liegt zwischen dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 60 und Masse ein Schaltungszweig, der einen Widerstand 62 mit dem Widerstandswert R_5 in Serie mit dem Strompfad eines Feldeffekttransistors 63 enthält. Der Widerstand R_{FET} des Feldeffekttransistors 63 hängt von der an dessen Gate-Elektrode angelegten Steuerspannung ab. Diese Steuerspannung wird aus der Ausgangsspannung U_a durch Gleichrichtung mittels einer Gleichrichterschaltung gewonnen, die zwei Halbleiterdioden 64, 65 und eine Glättungsschaltung mit einem Kondensator 66 parallel zu einem Widerstand 67 enthält. Somit ist der Strompfad-Widerstand R_{FET} des Feldeffekttransistors 63 von der Amplitude der Ausgangsspannung U_a abhängig. Dadurch ergibt sich für die zweite Verstärkerstufe der Verstärkungsfaktor

$$V_{II} = 1 + \frac{R_4}{R_5 + R_{FET}} \quad (5)$$

der in Abhängigkeit von dem Widerstand R_{FET} und somit in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung U_a veränderlich ist.

Der Verstärkungsfaktor V_{II} bestimmt den Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung U_a' und der Ausgangsspannung U_a der zweiten Verstärkerstufe

$$U_a = U_a' \cdot V_{II} \quad (6)$$

Der aus den beiden Verstärkerstufen bestehende Eingangsverstärker 32 hat den Gesamtverstärkungsfaktor V_G

$$V_G = V_I \cdot V_{II} \quad (7)$$

so daß zwischen der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a des Eingangsverstärkers 32 die folgende Beziehung besteht:

$$U_a = U_e \cdot V_G \quad (8)$$

Die Zusammenhänge zwischen den Verstärkungsfaktoren V_I , V_{II} , V_G und den Spannungen U_e , U_a' , U_a sind in den Diagrammen von Fig. 5 dargestellt.

In Fig. 5 zeigt das Diagramm A den spannungsabhängigen Verlauf des Verstärkungsfaktors V_I und das Diagramm B den dadurch erzielten Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a' der ersten Verstärkerstufe. Bis zu einem Wert U_{e2} der Eingangsspannung, bei welchem die

Ausgangsspannung U_a' den Sättigungswert U_B erreicht, ist der Verstärkungsfaktor V_1 konstant, so daß die Spannung U_a' der Eingangsspannung U_e proportional ist.

Die Diagramme C und D zeigen in entsprechender Weise die Verhältnisse für die zweite Verstärkerstufe. Bis zu einem Wert U_{a1}' der Spannung U_a' hat der Verstärkungsfaktor V_{11} einen verhältnismäßig großen konstanten Wert V_{111} , so daß die Ausgangsspannung U_a der Spannung U_a' mit verhältnismäßig großer Steilheit proportional ist. Zwischen den Werten U_{a1} und U_{a2} der Eingangsspannung U_a' bzw. den entsprechenden Werten U_{a1} und U_{a2} der Ausgangsspannung U_a liegt der Änderungsbereich des Widerstands R_{FET} ; demzufolge fällt der Verstärkungsfaktor V_{11} in diesem Bereich vom Wert V_{111} auf einen niedrigeren Wert V_{112} ab, wodurch sich in diesem Bereich der im Diagramm D dargestellte nichtlineare Zusammenhang zwischen den Spannungen U_a' und U_a ergibt. Zwischen dem Spannungswert U_{a2}' und einem Spannungswert U_{a3}' , bei welchem die Ausgangsspannung U_a den Sättigungswert U_B erreicht, ändert sich der Widerstand R_{FET} nicht mehr, so daß in diesem Bereich der Verstärkungsfaktor V_{11} den konstanten niedrigeren Wert V_{112} beibehält und die Spannung U_a wieder der Spannung U_a' proportional ist, jedoch mit wesentlich geringerer Steilheit.

Schließlich zeigt das Diagramm E den Gesamtverstärkungsfaktor V_G des Eingangsverstärkers 32, der sich aus dem Produkt der beiden Verstärkungsfaktoren V_1 und V_{11} ergibt, und das Diagramm F zeigt den entsprechenden Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a . Es ist unmittelbar zu erkennen, daß das Diagramm F von Fig. 5 dem Diagramm B von Fig. 3 sehr ähnlich ist. Insbesondere hat auch bei der Ausführungsform von Fig. 4 der Eingangsverstärker bei kleinen Werten der Eingangsspannung U_e einen großen Verstärkungsfaktor und demzufolge eine große Eingangsempfindlichkeit, während bei höheren Werten der Eingangsspannung der Verstärkungsfaktor kleiner und demzufolge die Eingangsempfindlichkeit herabgesetzt ist. Die Ausführungsform von Fig. 4 ergibt daher die gleichen vorteilhaften Wirkungen, wie sie zuvor für die Ausführungsform von Fig. 2 erläutert worden sind.

25

Ansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Selbsterregung eines mechanischen Schwingensystems zu Eigenresonanzschwingungen, mit einem elektromechanischen Wandlersystem, das im Rückkopplungskreis einer elektronischen Verstärkerschaltung angeordnet ist, so daß es durch die Ausgangswechselspannung der Verstärkerschaltung zu mechanischen Schwingungen angeregt wird und zum Eingang der Verstärkerschaltung eine Wechselspannung mit der Frequenz der mechanischen Schwingungen liefert, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerschaltung eine nichtlineare Verstärkungskennlinie aufweist, die bei kleinen Werten des Eingangssignals eine größere Verstärkung als bei größeren Werten des Eingangssignals ergibt.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerschaltung eine Verstärkerstufe aufweist, die durch einen Operationsverstärker mit in Abhängigkeit von der Signalamplitude veränderlichem Rückkopplungswiderstand gebildet ist.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rückkopplungskreis des Operationsverstärkers zwei in Serie geschaltete Widerstände enthält, und daß einem der beiden Widerstände zwei Halbleiterdioden gegensinnig parallelgeschaltet sind.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Operationsverstärker als Differenzverstärker mit zwei in Serie zwischen dem nichtinvertierenden Eingang und Masse angeschlossenen zusätzlichen Widerständen ausgebildet ist, und daß einem der zusätzlichen Widerstände zwei Halbleiterdioden gegensinnig parallelgeschaltet sind.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der invertierende Eingang des Operationsverstärkers durch einen Schaltungszweig, der einen Feldeffekttransistor enthält, mit Masse verbunden ist, und daß der Strompfadwiderstand des Feldeffekttransistors durch eine an dessen Gate-Elektrode angelegte Steuerspannung veränderlich ist, die von der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers abhängt.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerspannung durch Gleichrichtung aus der Ausgangsspannung gebildet wird.

55



FIG. 1

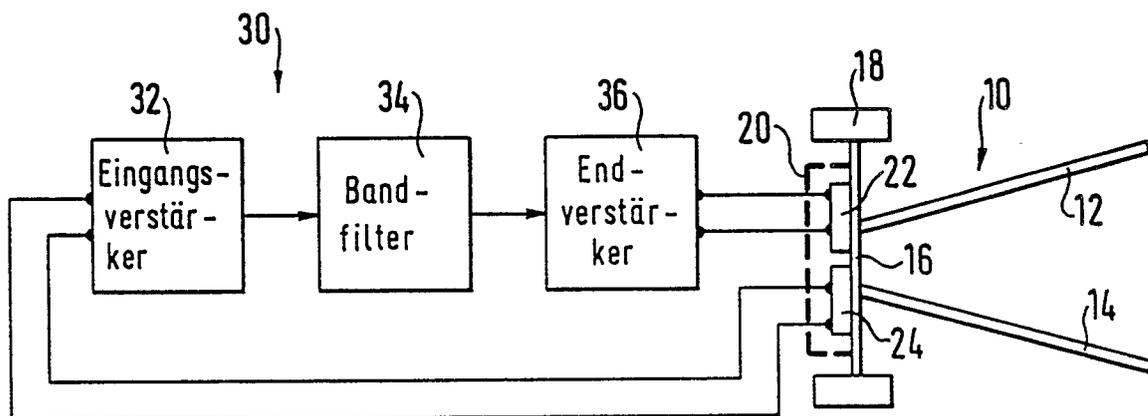


FIG. 2

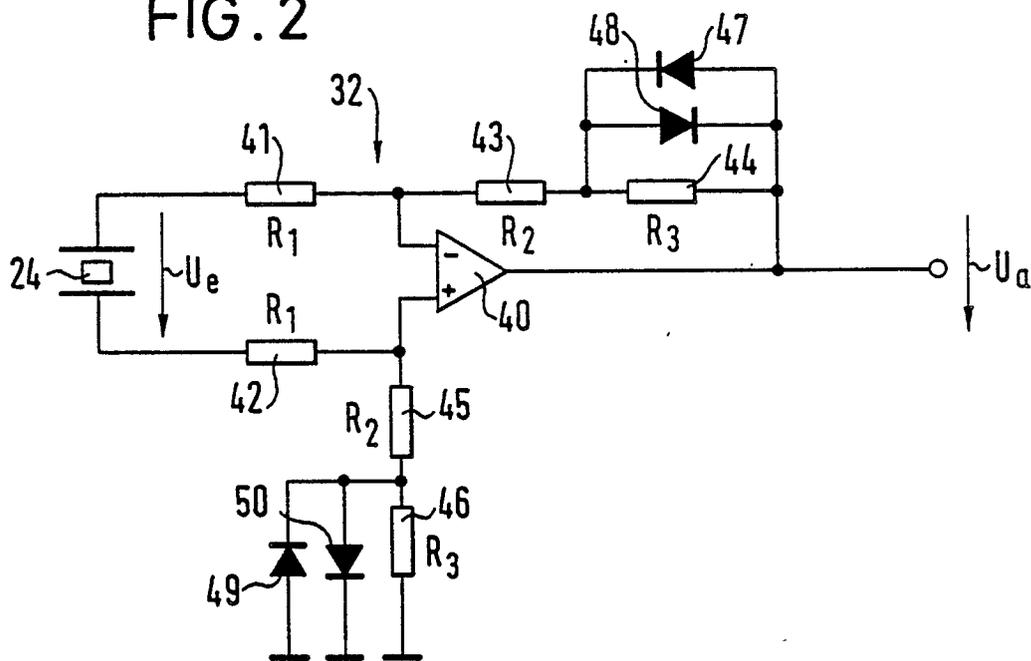




FIG. 3

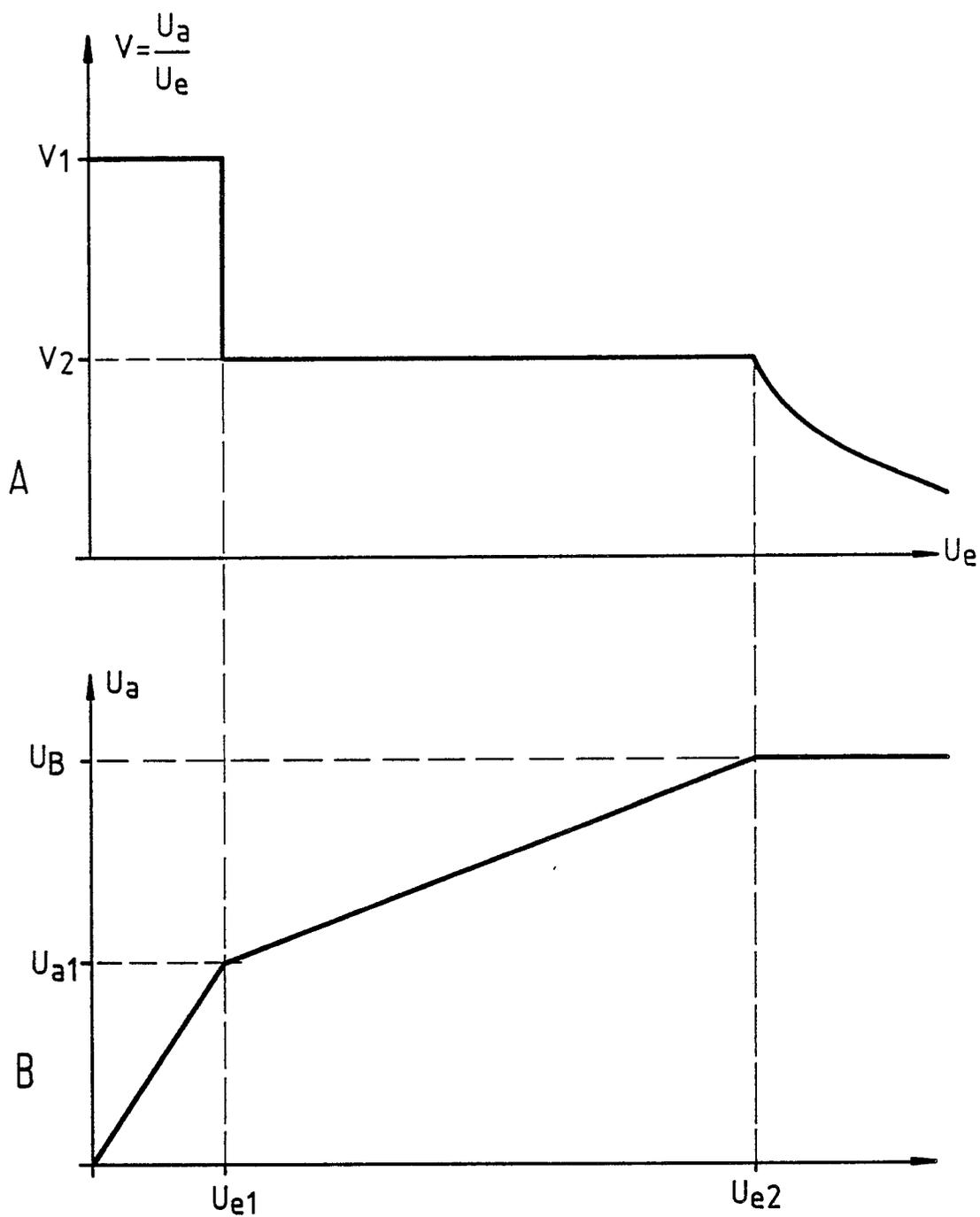
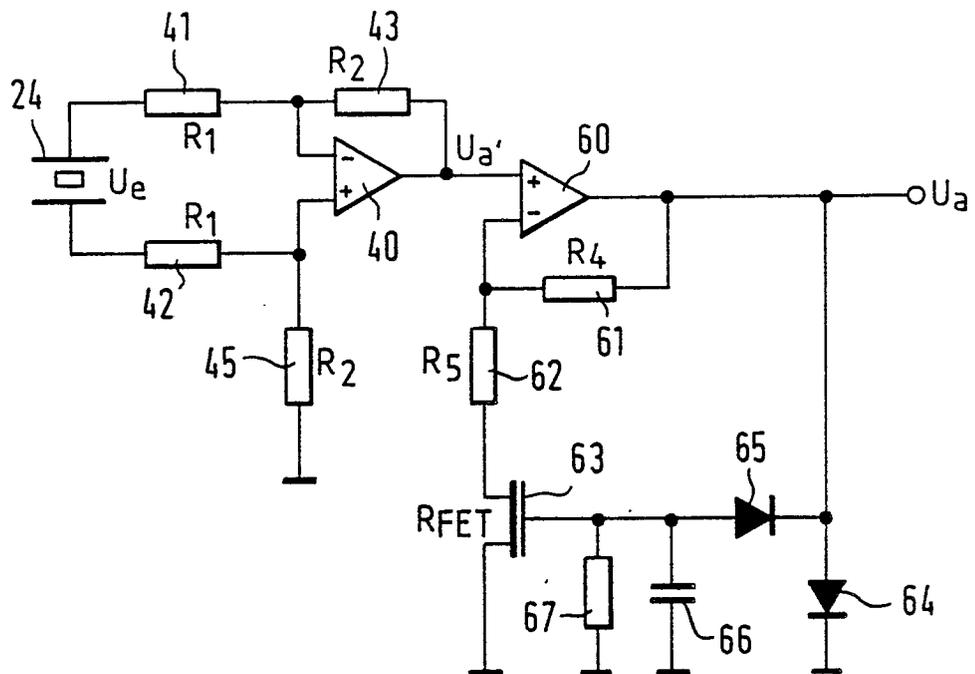




FIG. 4



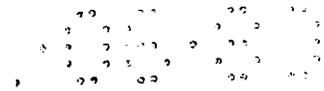
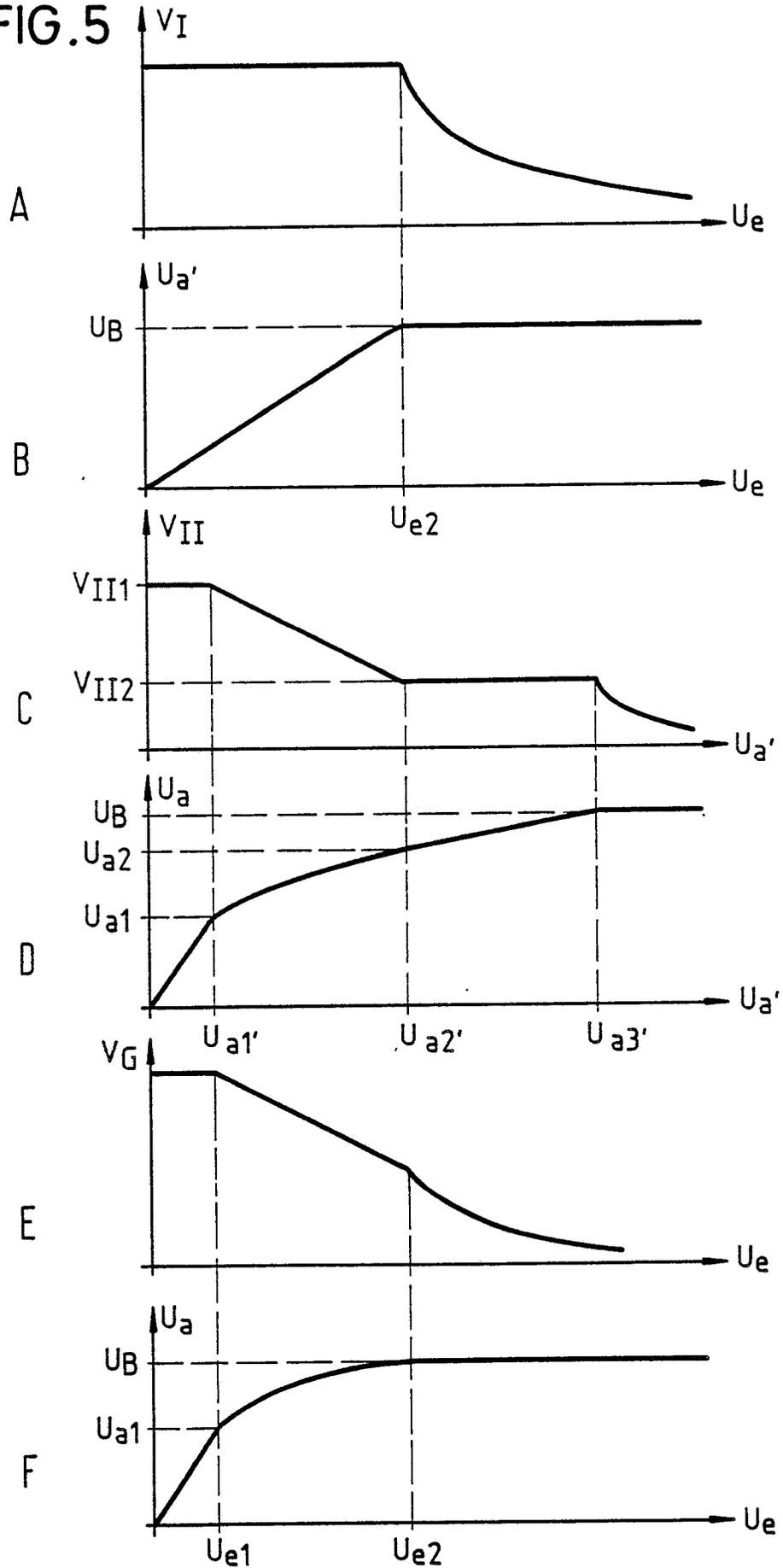


FIG.5





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
X	EP-A-0 240 360 (TOA NENRYO KOGYO K.K.) * Zusammenfassung; Figur 1 *	1,2	B 06 B 1/02
A	US-A-3 469 211 (SHOH) * Zusammenfassung *	1	
A	GB-A- 845 267 (METROPOLITAN-VICKERS ELECTRICAL CO.) * Seite 2, Zeilen 8-33; Figuren 1-3a *	3	
A	WIRELESS WORLD, Band 73, Nr. 12, Dezember 1967, Seiten 594-598, Sussex, GB; A.E. CRUMP: "Diode function generators" * Figuren 3,9 *	3	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 8, Nr. 163 (P-290)[1600], 27. Juli 1984; & JP-A-59 58 581 (MATSUSHITA DENKI SANGYO K.K.) 04-04-1984	5	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			B 06 B G 10 K G 06 G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlussdatum der Recherche 04-08-1989	Prüfer ANDERSON A.TH.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (1/0403)