



AUSLEGESCHRIFT 1 124 433

B 49284 IXb/83b

ANMELDETAG: 13. JUNI 1958

BEKANNTMACHUNG

DER ANMELDUNG

UND AUSGABE DER

AUSLEGESCHRIFT: 22. FEBRUAR 1962

1

Die Erfindung bezieht sich auf ein zeithaltendes elektrisches Gerät, wie z. B. eine elektrische Uhr, vorzugsweise Armbanduhr, mit einer selbsterregten, in ihrer Eigenfrequenz durch elektromagnetische Antriebssysteme in Schwingung unterhaltenen Stimmgabel als zeitbestimmendes und zugleich die Uhr antreibendes Schwingglied unter Verwendung einerseits eines kontaktlosen elektronischen Stimmgabelsenders, d. h. eines eine Stimmgabel als Frequenzgenerator enthaltenden elektronischen Schwingkreises, vorzugsweise mit einer Transistorschaltung, der auf die Stimmgabel, diese antreibend, zurückwirkt, andererseits einer mechanisch an die Stimmgabel angegeschlossenen, die Schwingung der Stimmgabel in eine Drehbewegung umsetzenden Übertragungsvorrichtung zum Antrieb des Zeigerwerks, wobei jeder Gabelzinken einen permanenten Topfmagneten, welcher im Feld einer ortsfesten, einen rohrförmigen Träger umfassenden Spule schwingen kann, aufweist, und die eine Spule, die Antriebsspule, zwischen den Emitter- und Kollektorelektroden, die andere Spule, die Abfühlspule, zwischen den Emitter- und Basiselektroden, jeweils in Reihe geschaltet, liegt. Geräte dieser Art sind bekannt. Dabei wird im allgemeinen nur eine Abfühlspule der einen Gabelzinke, nur eine Triebspule der anderen oder beide Spulen gemeinsam einer Gabelzinke zugeordnet. Da die Abfühlspule zur Erzeugung dieser Impulse schmäler sein kann als die Triebspule, die Zinkmagneten aber zur Vermeidung von Schwerpunktsverlagerungen die gleiche Masse haben müssen, so ergeben sich entweder unsymmetrische oder in jedem Falle ziemlich raumbeanspruchende Spulensysteme.

Sowohl bei über Transistoren gesteuerten »Unruhuhren« als auch bei elektrisch gesteuerten Stimmgabeln ist es freilich bereits bekannt, der Abfühlspule des Eingangskreises im Ausgang des Transistors nicht nur eine Triebspule, sondern zwei Triebspulen zuzuordnen —, und zwar sowohl elektrisch als auch räumlich — bzw. einer Triebspule zwei Steuerspulen zuzuordnen, um symmetrische Anordnungen zu erhalten; diese Symmetrie wird aber auch hier durch erhebliche Raumbeanspruchung, insbesondere in der Bauhöhe, erkauft, was für Kleinuhren, vor allem flache Armbanduhren, unerwünscht ist.

Wenn man nun bei dem eingangs erwähnten, zeithaltenden elektrischen Gerät, wie erfundungsgemäß vorgeschlagen wird, zwei der Abfühlspule im Eingangskreis elektrisch im Ausgangskreis zugeordnete, vorzugsweise in Reihe geschaltete Triebspulen verwendet, jedoch in derart abgewandelter Bemessung der beiden Triebspulen und in einer derartigen räum-

Zeithaltendes elektrisches Gerät,
z. B. elektrische Uhr,
vorzugsweise Armbanduhr

5

Anmelder:

Bulova Watch Company,
New York, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter: Dipl.-Ing. H. Lesser, Patentanwalt,
München 27, Cosimastr. 81

Beanspruchte Priorität:
V. St. v. Amerika vom 13. Juni 1957

Max Hetzel, Biel/Bienne (Schweiz),
ist als Erfinder genannt worden

2

lichen Anordnung der einen Triebspule zur Abfühlspule, daß die Gesamtlänge der auf beiden Seiten der Stimmgabeln angeordneten ortsfesten Spulen, trotz erheblich kleiner Abmessung der Steuerspule im Verhältnis zur Triebspule, annähernd gleich ist, dann bringt diese neue Anordnung trotz Beschränkung der Steuerspule auf das notwendige Maß den Vorteil, daß die Stimmgabel-Magneten so kurz wie möglich bei gleichem Wirkungsgrad gehalten werden können, wodurch die Bauhöhe so klein wie möglich gehalten wird, was für flache Armbanduhren sehr wichtig ist.

Zweckmäßig ist es, die Abfühlspule und die zweite Antriebsspule auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger nebeneinander aufzuwickeln. Die Abfühlspule und die zweite Antriebsspule können aber auch auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger übereinander aufgewickelt sein, wobei es sich empfiehlt, die Zahl der Windungen der Abfühlspule etwa gleich einem Fünftel der Gesamtwindungszahl beider Antriebsspulen zu wählen.

Die Erfindung wird an Hand eines Ausführungsbeispiele in den Zeichnungen schematisch erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine schaubildliche Ansicht einer elektrisch gesteuerten Uhr nach der Erfindung, wobei einige Teile der Vorrichtung im auseinandergezogenen Zustand und andere schematisch dargestellt sind,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch einen Übertrager,

Fig. 3 ein Schaltbild der elektronischen Regeleinrichtung,

Fig. 4 eine vergrößerte Teilansicht eines Klinkenrades und

Fig. 5 ein Diagramm I bis IV die der Schaltung nach Fig. 1 und 3 zugrunde liegenden Prinzipien; so weit diese Prinzipien teilweise bereits Gegenstände eines älteren Vorschlags des Erfinders sind, werden sie hier zur Erleichterung des Verständnisses lediglich zur Erläuterung nochmals dargestellt.

Wie aus den Zeichnungen hervorgeht, insbesondere aus Fig. 1 und 2, sind die Hauptteile der Uhr nach der Erfindung

- a) eine zeiteinhaltende Einheit (Standard), die durch eine Stimmgabel 10 und einen elektronischen Antriebskreis 11 hierfür gebildet wird, der elektromechanische Wandler 12 und 13 aufweist, die in Wirkverbindung mit der Gabel stehen,
- b) drehende Teile mit einem Getriebe zum Antrieb der Uhrzeiger, wobei die Bewegung durch den Block 14 dargestellt wird und
- c) einen Bewegungsumwandler 15, der die Gabel 10 mit den drehenden Teilen 14 in Wirkverbindung bringt und zur Umwandlung der Gabelschwingung in eine Drehbewegung dient.

Alle diese Bestandteile sind an verschiedenen Stellen auf einer scheibenförmigen Grundplatte 16 montiert. Die Grundplatte kann sich in einem Uhrengehäuse üblicher Bauart befinden.

Die Stimmgabel 10 ist mit zwei Zinken 17 und 18 versehen, und das Joch der Gabel ist starr mit einer Grundplatte 16 durch Schrauben 19 und 20 verbunden. Der Mittelteil der Grundplatte ist ausgeschnitten, um eine unbehinderte Schwingung der Zinken zu ermöglichen.

Der Wandler 12 enthält einen Topfmagneten 21, der an dem freien Ende der Zinke 17 befestigt ist. Der Magnet wirkt mit einer Antriebsspule 22 zusammen. Die Antriebsspule 22 ist auf einen rohrförmigen Träger 23 gewickelt, der an einem Befestigungsstreifen 24 angebracht ist, der wiederum an der Grundplatte 16 befestigt und mit zwei Anschlußkontakten 25 versehen ist (vgl. Fig. 1 und 2).

Der Wandler 13 (vgl. Fig. 1) enthält einen Topfmagneten 26, der an dem freien Ende der Zinke 18 befestigt ist und mit einer Antriebsspule 27 und einer induktiv erregten Abfühlspule (Generatorspule) 28 zusammenwirkt. Die Antriebsspule 27 und die Abfühlspule 28 sind nebeneinander auf einen rohrförmigen Träger 29 gewickelt, der an einem Montagestreifen 30 befestigt ist. In der Praxis kann die Abühlspule statt neben der Antriebsspule auf die Antriebsspule gewickelt werden. Der Streifen 30 ist an der Grundplatte 16 befestigt und mit einem ersten Paar von Verbindungskontakten 31 für die Antriebsspule und einem zweiten Paar 32 für die Generatorspule 28 versehen. Wie man am besten aus Fig. 2 ersieht, wird der Magnet 21 durch einen zylindrischen Topfmagneten 21a, z. B. aus Eisen, gebildet, in dem eine permanentmagnetische Stange 21b koaxial angeordnet ist. Die Stange 21b, die beispielsweise aus einer Aluminium-Nickel-Kobalt-Legierung bestehen kann, ist an der Stirnwand des Topfes befestigt, so daß ein Magnetkreis entsteht, in welchen die magnetischen Kraftlinien über den Ringspalt 21c laufen, der sich zwischen der inneren Stange und dem umgebenden Zylinder befindet.

Der Träger 23, auf dem die Antriebsspule 22 sitzt, befindet sich in dem von dem Ringspalt 21c umgebenen Raum. Es befindet sich sowohl zwischen dem Träger und der in der Mitte liegenden Stange als auch zwischen dem Träger und dem ihn umgebenden Zylinder ein Zwischenraum, so daß der Magnet axial zu der festen Spule hin- und herschwingen kann. Die Konstruktion des Wandlers 12 gleicht der eines permanentmagnetischen Lautsprechers. Der Wandler 13 mit dem zweiten Zinkenmagnet und der Triebsspule 27 ist ebenso gebaut, mit der Ausnahme, daß er eine zusätzliche Spule 28 aufweist, wobei die Länge von 27 und 28 nach Fig. 1 so bemessen sind, daß sie zusammen gleich der Länge der Spule 22 sind.

Im Betrieb ruft ein erregender Impuls, der z. B. der Antriebsspule 22 des Wandlers 12 zugeführt wird, einen axialen Druck auf das zugeordnete magnetische Element hervor in einer Richtung, die durch die Polarität des Impulses in bezug auf die Polarität des permanenten Magneten bestimmt wird, und wobei das Ausmaß von der Energie des Impulses abhängt. Da der Magnet an einer Zinke einer Stimmgabel befestigt ist, wirkt der Druck auf den Magneten mechanisch, um die Gabel in Schwingung zu versetzen. Die Schwingung der Gabel und die auftretende Bewegung des Magneten induzieren eine gegenelektromotorische Kraft in der Antriebsspule und im Falle des Wandlers 13 auch in der Generatorspule 28. Da der Magnet hin- und hergeht in Einklang mit der Schwingbewegung der Stimmgabel, nimmt die gegen-elektromotorische Kraft die Form einer Wechselspannung an, deren Frequenz der der Gabel entspricht.

Eine Stimmgabel ist ein mechanischer Schwingungs erzeuger mit relativ hoher Frequenz und schwingt mit einer Eigenfrequenz, die durch die Abmessungen der Zinken und ihre Belastung bestimmt wird, die in diesem Beispiel durch die Masse der Magneten bestimmt wird, die an dem freien Gabelende befestigt sind. Wie in älteren Rechten des Erfinders offenbart ist, gibt es verschiedene Mittel, um die Frequenz der Gabel auf einen gewünschten Wert einzustellen. Das Maß, in dem die Uhrbewegung angetrieben wird, ist der Frequenz des Schwingers direkt proportional, so daß die Genauigkeit der Uhr durch Bestimmung der Arbeitsfrequenz der Stimm gabel reguliert werden kann.

Der elektronische Antriebskreis 11 der Stimmgabel weist einen Transistor 33, eine einzellige Batterie 34 und ein RC-Vorspann-Netzwerk auf, das durch einen Kondensator 35 und einen hierzu parallel geschalteten Widerstand 36 gebildet wird. Der Transistor 33 ist mit einer Basis, einem Emitter und einem Kollektor B, E und C versehen.

Die Basis ist durch das RC-Glied 35, 36 mit dem einen Ende der Generatorspule 28 verbunden, während das andere Ende der Spule mit einem Ende der Antriebsspule 27 verbunden ist. Die Antriebsspule 27 ist in Reihe mit der Antriebsspule 22 und dem Kollektor C des Transistors verbunden.

Der Emitter E ist an die positive Klemme der Batterie 34 angeschlossen, deren negativer Pol an der Verbindung von der Antriebsspule 27 mit der Phasenspule 28 liegt. Auf diese Weise ist die Batterie durch beide Antriebsspulen 22 und 27 in Reihe zwischen dem Emitter und dem Kollektor des Transistors geschaltet, wobei der Kollektor in bezug auf den Emitter negativ ist.

Der Transistor ist ein Germanium-Transistor, und die Polarität der Batterie der Verbindung ist so dargestellt, wie sie erfolgt, wenn der Transistor ein PNP-Transistor ist. Selbstverständlich ist bei anderen Verbindungen und Punktkontakt-Transistoren aus solchen Materialien, wie Silizium oder Germanium, der Batterieanschluß entsprechend den besonderen Erfordernissen angeordnet.

Die Wechselwirkung des elektronischen Antriebskreises und der Stimmgabel reguliert sich selbst und bringt nicht nur die Zinken zur Schwingung in ihrer Eigenfrequenz, sondern erhält auch die Schwingung in praktisch konstanter Amplitude. In der Praxis wird die Amplitude der Gabelschwingungen auf einem praktisch konstanten Wert gehalten oder im Falle einer mechanischen Störung schnell auf diesen Wert zurückgebracht, wie an Hand der Fig. 5 weiter unten erläutert wird.

Die Schwingungen des Schwingers werden in eine Drehbewegung umgewandelt, die dann dazu benutzt wird, die Zeiger der Uhr anzutreiben. Der Bewegungsumformer 15, durch den dies erfolgt, ist in Fig. 1 dargestellt und weist eine Klinke 37 in Form einer leichten Blattfeder auf. Die Klinke 37 ist mit einem Ende an der Zinke 18 befestigt und hat am anderen Ende eine Spitze 38, die aus einem Edel- oder Halbedelstein bestehen kann, wie z. B. aus einem Rubin oder Saphir. Die Spitze 38 greift in die Zähne eines Klinkenrades 39, so daß die Schwingung der Zinke 18 Drehimpulse auf das Klinkenrad überträgt. Die Welle 40 des Klinkenrades ist mit einem Zahnrad 41 versehen, das in das erste Zahnrad des Getriebes für die Drehbewegung 14 eingreift.

Die Welle 40 des Klinkenrades ist mit einer Miniatur-Bremstrommel 42 versehen, auf die das eine Ende eines Bremsgliedes 43 leicht einwirkt, dessen anderes Ende fest an der Grundplatte 16 angebracht ist. Das Bremsglied 43 verhindert, daß das Klinkenrad 39 sich über den Punkt hinaus vorbewegt, zu dem es durch die Klinkenspitze 38, während sie vorrückt, gedrückt wird und hält dieses Rad in dieser Lage während des Rückganges der Klinke. Auf diese Weise wird eine zu weite Drehung des Klinkenrades unter dem Einfluß der Eigenträgheit verhindert, ebenso wie ein Zurückdrehen infolge der Reibung zwischen der Klinke und dem Klinkenradzahn während des Zurückgehens der Klinke. Diese Art der Bewegungsumformung ist bereits Gegenstand älterer Rechte des Erfinders und wird hier daher nur der Vollständigkeit halber erläutert.

Verhalten des Bewegungsumformers

Das Klinkenrad 39 löst die Bewegung der drehenden Teile 14 aus, und es ist daher wesentlich, daß das Klinkenrad konstant gedreht wird. Dies wird erreicht, wenn die auf das Klinkenrad 39 übertragenen Impulse es jedesmal um den gleichen Winkel drehen, in welchem Fall jede Schwingung der Stimmgabel zu der gleichen Winkelverdrehung des Klinkenrades führt.

Daher sollte, wie aus Fig. 4 hervorgeht, die Länge des hin- und hergehenden Weges der Klinke und insbesondere von deren Spitze 38 in einer Richtung tangential zu dem Klinkenrad am Eingriffspunkt zwischen dem Zahn und dem Klinkenrad größer als P , aber nicht größer als $2P$ sein, wobei P die Steigung des Klinkenradzähne bedeutet.

Es ergibt sich aus Fig. 4, daß, wenn die Klinkenspitze 38 sich mit einer Bahnlänge hin- und herbewegen würde, die kleiner als P ist, die Spitze nicht bei aufeinanderfolgenden hin- und hergehenden Bewegungen aufeinanderfolgende Klinkenradzähne erfassen würde, sondern einfach im Eingriff mit demselben Klinkenzahn bleiben würde. Man kann auch feststellen, daß, falls die Spitze 38 sich mit einer Bahnlänge größer als $2P$ hin- und herbewegen würde, die Spitze nicht aufeinanderfolgende Zähne erfassen würde. Wenn dies eintreten würde, so würde jede Bewegung, bei der die Bahnlänge der Spitze der Entfernung $2P$ überschreiten würde, mindestens eine doppelte Winkeldrehung des Klinkenrades 39 hervorrufen.

Es ist leicht einzusehen, daß die Bahnlänge der Klinkenspitze in der tangentialem Richtung T eine Funktion der Schwingungsamplitude der Zinke 18 ist. Daher muß, damit die Spitze 38 in der Richtung T mit einer Bahnlänge, die mindestens gleich P ist, hin- und herschwingt, und in der Praxis mit einer Bahnlänge a , die etwas größer ist als P , die Zinke mit einer gewissen minimalen Amplitude schwingen.

In gleicher Weise soll, damit die Bahnlänge der Spitze $2P$ nicht überschreitet und in der Praxis eine Länge b nicht übersteigt, die etwas kleiner als $2P$ ist, die Amplitude der Schwingung der Zinke 18 eine gewisse maximale Amplitude nicht überschreiten. Je- doch können Stöße oder andere äußere Kräfte, denen eine Uhr oft ausgesetzt ist, genügen, damit die Zinke 18 einen Moment mit erhöhter Amplitude schwingt, d. h. mit einer Amplitude, die den maximalen Normalwert übersteigt und die Spitze zum Hin- und Hergehen mit einer Hublänge größer als $2P$ bringt.

Es reicht daher nicht aus, daß der elektronische Antriebskreis die Stimmgabel mit ihrer Eigenfrequenz in Schwingung versetzt. Für eine genaue Zeiteinhaltung ist es wesentlich, daß die Amplitude der Gabelschwingung stabilisiert wird und, wenn die normale Amplitude der Schwingung durch äußere Stoßkräfte verändert wird, daß die Amplitude schnell auf ihren richtigen Wert zurückgebracht wird.

Die Stimmgabel wird vorzugsweise mit einer Amplitude betrieben, bei der die Hublänge der Klinkenspitze in tangentialem Richtung zu dem Klinkenrad 150% des Abstandes von Zahn zu Zahn oder der Steigung des Klinkenrades beträgt. Dies ermöglicht eine wesentliche Abweichung in jeder Richtung von der eingestellten Amplitude, bevor das Klinkenrad aus dem Gleichlauf mit der Stimmgabel kommt. Der elektrische Antriebskreis, dessen Verhalten im nächsten Abschnitt betrachtet werden wird, reguliert die Amplitude der Schwingung, um die Genauigkeit der Uhr auch unter sehr harten Betriebsbedingungen aufrechtzuerhalten.

Verhalten des elektronischen Antriebskreises

Wie aus Fig. 5 hervorgeht, ist dort ein kombinier tes Diagramm dargestellt, das verschiedene Darstellungen von Transistorcharakteristiken mit der Spannung an der Basis und dem Kollektor des Transistors umfaßt.

Das Diagramm I zeigt den Kollektorstrom in Abhängigkeit von der Kollektorspannung des Transistors, wie er im elektronischen Antriebskreis verwendet wird. Die Abszisse ist linear in Einheiten (Millivolt) der Kollektorspannung (V_{ec}) unterteilt, wobei der

Kollektor negativ zum Emitter ist. Der Bereich geht von 0 bis 2800 mV. Auf der Ordinate sind die Einheiten des Kollektorstromes in Mikroampere (*a*) aufgetragen, wobei der Bereich von 0 bis 22 Mikroampere geht.

Die entsprechenden Kurven *C1* bis *C10* zeigen Kollektorstrom-Kollektorspannungs-Kennlinien für verschiedene Werte der Basisspannung (*Veb*) in Millivolt (mV). Die Kurve *C1* ist die Kennlinie für eine Basisspannung (*Veb*) von +100 mV, *C2* für +20 mV, *C3* für 0 mV, *C4* für -20 mV, *C5* für -30 mV, *C6* für -40 mV, *C7* für -50 mV, *C8* für -60 mV, *C9* für -70 mV, *C10* für -100 mV.

Es ist zu beachten, daß ein nennenswerter Strom in dem Kollektorkreis nur fließt, wenn die Basis15spannung negativ ist. Gegenwärtig zur Verfügung stehende Transistoren üblicher Bauart können nicht vollständig gesperrt werden durch Anwendung einer positiven Basisspannung, jedoch bleibt bei positiven Basisspannungen, die größer als 50 bis 100 mV sind, der Kollektorstrom auf einem sehr kleinen Wert, und in dem dargestellten Beispiel ist dieser Wert etwa 0,6 Mikroampere für alle negativen Werte der Kollektorspannung.

Für praktische Zwecke kann daher der Kollektorstrom in dem Transistor blockiert werden, indem während des größten Teils der Schwingungsperiode eine positive Basisspannung beibehalten wird. Wie später noch näher erläutert werden wird, ist es diese Transistorcharakteristik, die es der Generatorspule *28*20 ermöglicht, die Dauer und die Phasenlage des wirksamen Intervalls im Laufe einer vollen Schwingung zu bestimmen, während der Antriebsstromimpuls erfolgt.

Die Kurven *C3* bis *C8* (keine oder negative Basis35spannung) in dem Diagramm I haben je einen proportionalen Teil, in dem das Verhältnis von Kollektorstrom zu Kollektorspannung verhältnismäßig hoch ist, d. h., eine geringe Änderung der Kollektorspannung erzeugt eine verhältnismäßig große Änderung des Kollektorstromes. Die proportionale Zone geht von Null bis höchstens -200 Kollektor-Millivolt in den einzelnen Kurven. Der proportionale Teil in den Kennlinien wird durch eine Sättigungszone fortgesetzt, in der das Verhältnis zwischen Mikroampere und *Veb* verhältnismäßig gering ist, d. h. eine große Änderung der Kollektorspannung eine verhältnismäßig geringe Änderung des Kollektorstromes her40ruft. Für praktische Zwecke ist der Kollektorstrom über etwa -200 mV unabhängig von der Kollektorspannung und hängt nur von der Basisspannung ab.

Wie aus Fig. 3 hervorgeht, ist die Batterie *34* durch den Emitter und den Kollektor des Transistors *33* so an die in Reihe geschalteten Antriebsspulen *22* und *27* des Übertragers angeschlossen, daß die Antriebsspulen gleichzeitig unter Strom gesetzt werden, nur wenn der Kollektorstrom durch den Transistor fließen kann. Die Batteriespannung wird vorzugsweise von einer konstanten Spannungsquelle, wie einer Quecksilberzelle von 1,3 Volt, geliefert.

Der Transistor *33* wird durch eine der Basis zugeführten Vorspannung praktisch während des größten Teils der Schwingungsperiode im Ruhezustand gehalten, und im Laufe jeder vollen Schwingung der Stimmabel wird er nur für ein verhältnismäßig kurzes Intervall wirksam gemacht. Die Basis *B* des Transistors wird durch das *RC*-Glied *35*, *36* positiv gegen

den Emitter *E* vorgespannt, wobei das *RC*-Glied durch die Spannung ungerichtet geladen wird, die in der Generatorspule *28* induziert und dem *RC*-Glied durch den Emitterbasiskreis, der als Diode wirkt, zugeführt wird. Auf diese Weise wird die Stromentnahme aus der Batterie auf die kurze wirksame Zeitspanne in jeder vollen Schwingung beschränkt.

Die *RC*-Werte des Netzwerkes *35*, *36* sind so gewählt, daß die Zeitkonstante der Kombination lang ist im Vergleich zu einer Stimmabelschwingung. Die Diodenwirkung des Transistors ermöglicht es der Generatorspule *28*, den Kondensator auf einen Wert aufzuladen, der höher als die Batteriespannung ist, wobei ein Strom vom Emitter zur Basis fließt, jedesmal, wenn die Basis in bezug auf den Emitter negativ ist.

Jedoch kann der Kondensator *35* sich nicht über den Transistor während des Teiles der Schwingung entladen, in welchem die in der Phasenlage bestimmenden Spule induzierte Spannung die Basis positiv gegen den Emitter macht. Der Widerstand *36* ist daher vorgesehen, damit ein Teil der Ladung des Kondensators abgeleitet wird, so daß nur während eines verhältnismäßig kurzen Intervalls in jeder vollen Schwingung die Basis negativ zum Emitter wird. Während dieses Intervalls wird die Ladung, die vom Kondensator abgeflossen ist, ersetzt.

Das Diagramm II der Fig. 5 zeigt die Basisspannung (*Veb*) als Funktion der Zeit aufgetragen. Die Basisspannung ist auf der Ordinate in Millivolt angegeben, wobei die Skala von -200 über 0 bis +400 mV geht. Die Zeit ist auf der Abszisse in Prozent einer Stimmabelschwingung aufgetragen, wobei die Skala von 0 bis 100% reicht.

Die Vorspannwirkung ist schematisch im Diagramm III aufgezeichnet. Die an dem Kondensator *35* angesammelte Ladung in der Vorspannschaltung ist durch die gestrichelte waagerechte Linie als Durchschnittsbasisspannung *Veb* angedeutet. Die Durchschnitts-*Veb* liegt bei +140 mV, die, wie aus dem Diagramm I zu ersehen ist, mehr als groß genug ist, um den Transistor wirksam zum Abschalten vorzuspannen. Es ist zu erkennen, daß diese Ladung nicht konstant ist, da die tatsächliche Wellenform für die Basisspannung in Abhängigkeit von der Zeit eine etwas abgewandelte Sinuskurve ist. Nichtsdestoweniger hat die Basis während eines langen Teiles einer jeden Stimmabelschwingung ein positives Potential, wodurch der Stromfluß in den Kollektorkreis während dieser Zeit verhindert wird.

Die Kurve in Diagramm II zeigt eine volle Periode der Wechselspannungswelle, die in der Generatorspule *28* im Lauf einer Periode der Zinkenschwingung induziert wird. Man sieht, daß zwischen etwa 60 und 90% der Zeit im Verlauf einer vollen Schwingung bzw. Periode die negative Spitze der Generatorspannung die Null- oder Schwelllinie an der Basismillivolt-Skala bei x-x übersteigt, wodurch für ein Intervall, dessen Dauer 30% der vollen Periode beträgt, sich die Spannung *Veb* an der Basis von 0 auf -100 mV und zurück auf Null ändert. Während dieses Intervalls kann, wie aus Diagramm I hervorgeht, der Kollektorstrom in dem Transistor so lange fließen, wie die Kollektorspannung negativ in bezug auf den Emitter *E* ist.

Auf diese Weise übersteigt die negative Spitze der Spannungswelle der Generatorspule die Basisvorspannung und macht den Transistor für ein kurzes Inter-

vall der Schwingungsperiode wirksam. Ob der Kollektorstrom während des wirksamen Intervalls fließt und wie groß die Amplitude ist, wenn er fließt, hängt von der Größe der Kollektorspannung ab, wie aus dem Diagramm I zu ersehen ist.

Die Wirkung von Antriebsimpulsen auf die Frequenz eines mechanischen Schwingungssystems ist Null für »momentane« Impulse, die gerade im Zeitpunkt der größten Geschwindigkeit zugeführt werden. Dieser Zeitpunkt fällt in die Mitte des Schwingungsausschlages. Impulse nur begrenzter Dauer haben dann eine Wirkung auf die Frequenz der Stimmgabel, die vernachlässigt werden kann, wenn die Impulse symmetrisch zum Punkt der maximalen Geschwindigkeit der Zinken sind. Da die Spannung, die in der Generatospule des Übertragers induziert wird, der momentanen Geschwindigkeit der Stimmgabelzinken proportional ist, erreicht das Basispotential seinen maximalen negativen Wert im genauen Mittelpunkt y der Schwingungen der Zinken (Mitte des Ausschlages beim vorderen Ausschlag). Daher entstehen Antriebsimpulse zu dieser Zeit, wodurch jede Störung der Eigenfrequenz der Stimmgabel auf ein Minimum beschränkt wird.

Die Spannungs- und Strombedingungen in dem Kollektorkreis sollen jetzt untersucht werden, um die Art zu bestimmen, in der die Antriebsstromimpulse mit der Amplitude der Gabelschwingung variieren. Wie zuvor in Verbindung mit Fig. 3 erläutert wurde, sind die Antriebsspulen 22 und 27 im Kollektorkreis des Transistors in Reihe mit der Batterie 34 geschaltet. Die Kollektorspannung ist stets die algebraische Summe der momentanen Spannung, die in den Antriebsspulen durch die sich bewegenden Magnete auf den Zinken induziert wird, und der Spannung der Batterie unter Außerachtlassung des ohmschen Spannungsabfalles ($I \cdot R$) in den Antriebsspulen, wenn in ihnen Strom fließt.

Die Wandler 12 und 13 sind nun so eingerichtet, daß bei einer gewählten Betriebsamplitude der Gabel die von Spalte zu Spalte induzierte Spannung bei keiner Belastung, also im Leerlauf, in den Antriebsspulen (bei offenem Kreis gemessen) fast das Doppelte der gegebenen Batteriespannung ist. Die algebraische Summe der Batteriespannung und der in den Antriebsspulen induzierten Spannung schwankt daher sinusförmig von einem kleinen sich Null nähernnden Wert bis fast zum Doppelten der Batteriespannung.

Die Spulen und Magnete der Wandler sind so proportioniert, daß sie die gewünschte Amplitude des Klinkenhubes an dem Punkt ergeben, an dem die momentan induzierte Spannung etwas geringer als die Batteriespannung ist. In der Praxis sollte dieser momentane Differenzwert zwischen 7 und 10% der Batteriespannung liegen. Wie bereits erwähnt, ist die bevorzugte Amplitude so groß, daß die Klinke 150% der Steigerung oder des Zahndistanzen des Klinkenrades zurücklegt. Die gewünschten Abmessungen können mathematisch berechnet oder empirisch bestimmt werden. Die Generatospule enthält vorzugsweise etwa ein Fünftel soviel Drahtwindungen, wie die Summe der Windungen an beiden Antriebsspulen beträgt, so daß die dort induzierte Spannung etwa ein Fünftel der in den Antriebsspulen induzierten Gegen-EMK beträgt.

Das Ergebnis des Wandlerentwurfes ist in dem Diagramm III dargestellt, in dem die Kurve die

algebraische Summe der in den Antriebsspulen induzierten gegenelektronisierten Spannung und der Batteriespannung darstellt. Die Batteriespannung (1,3 Volt) ist durch die gestrichelte senkrechte Linie bei -1300 mV dargestellt. Das Verhältnis der Kollektor- zur Emitterspannung schwankt sinusförmig im Laufe einer vollen Schwingungsperiode der Gabel (0 bis 100%).

Es ist zu beachten, daß im Zeitpunkt »0« (als dieser Bezugspunkt ist der »Umkehrpunkt« gewählt, d. h. wenn die Stimmgabelgeschwindigkeit Null ist) die Kollektorspannung gleich der Batteriespannung (-1,3 Volt) ist. Bei 25% der Periode später ist die Kollektorspannung etwa -2500 mV, was fast das Doppelte der Batteriespannung ist, bei 50% ist die Spannung wieder gleich der Batteriespannung, bei 75% (Punkt y in der Mitte des wirksamen Intervalls $x-x$ des Transistors zwischen 60 und 90%) beträgt die Spannung etwa -105 mV, und bei 100% (das Ende einer vollen Periode) ist die Spannung wieder gleich der Batteriespannung.

Quantitativ kann die Wirkungsweise des Kollektorkreises an Hand des Diagramms I betrachtet werden. Über etwa -200 mV ist der Kollektorstrom unabhängig von der Kollektorspannung und nur von der Basisspannung abhängig. Dies ist die Sättigungszone. Die Basisspannung-Zeit-Kurve (Diagramm II) zeigt, daß die Basisspannung Null ist und zunehmend negativ bei dem 60%-Punkt in der Periode ist. In diesem gleichen Augenblick zeigt Diagramm III, daß das Kollektorpotential -600 mV beträgt. Der Kollektorstrom wächst daher schnell, wenn die Basisspannung stärker negativ wird. Mit fortschreitender Schwingungsperiode jedoch nimmt die Kollektorspannung ab (Diagramm III), und zwar auf einem Punkt, an dem der Kollektorstrom stark von dieser Spannung abhängt, wodurch ein scharfer Stromabfall hervorgerufen wird und ein Minimum an dem genauen Mittelpunkt der Zinkenschwingung erreicht wird. Dieser scharfe Abfall des Kollektorstromes mit einer Abnahme der Kollektorspannung führt zur Regelung der Stimmgabelamplitude.

Bei geringen Schwingungsamplituden, wo die Kollektorspannung (algebraische Summe der Batteriespannung und induzierte Antriebsspulenspannung) bei verhältnismäßig großen Werten bleibt, werden große Stromimpulse, die nur durch die Spitzenwerte der negativen Basisspannung (Sättigungszone der Kurve) gesteuert werden, den Antriebsspulen zugeführt. Dies führt zu einer schnellen Erhöhung der Amplitude in dem Bereich der Amplitudensteuerung (proportionale Zone der Kurve). Wenn außerdem die Amplitude einen so großen Wert erreichen sollte, daß die Kollektorspannung Null oder positiv ist, wenn die Basisspannung negativ wird in dem wirksamen Intervall, so können keine Stromimpulse entstehen. Infolgedessen fällt die Stimmgabelamplitude schnell in den Bereich der Amplitudensteuerung.

Quantitative Bestimmung der Amplitude des Antriebstromes erfordert eine Korrektur des ohmschen Spannungsabfalles ($I \cdot R$) in den Antriebsspulen, da der Kollektorstrom auf kleine Änderungen der Kollektorspannung unter 200 mV anspricht. Obgleich der Strom verhältnismäßig niedrig ist, enthalten die Antriebsspulen viele Windungen aus sehr dünnem Draht und bilden daher einen hohen Widerstand, der nicht vernachlässigt werden kann. Die Antriebsspulen für die einzelnen in Fig. 5 dargestellten Diagramme

sind mit einem Gesamtwiderstand von 16 000 Ohm angesetzt.

Das Diagramm IV zeigt den Antriebsstrom wiederum nach der Zeit in Prozenten aufgetragen für eine vollständige Schwingungsperiode. Diese Kurve ist von den Diagrammen I, II und III abgeleitet, wobei das übliche Verfahren der Anpassung der Arbeitslinie zur Korrektur des Antriebsspulenwiderstandes angewandt wurde. Das folgende Beispiel des Verfahrens zur Bestimmung eines Punktes auf dieser Kurve zeigt das Verfahren, das benutzt wurde, um den übrigen Teil der Kurve zu bekommen.

Wie aus Diagramm II hervorgeht, bezeichnet der Punkt *a* den Zeitpunkt in der Periode, zu dem das Basispotential -70 mV beträgt. Dies tritt bei 66,5% 15 der Periode auf. Im selben Augenblick zeigt Diagramm III, daß die Kollektorspannung -275 mV betragen würde, wenn kein Strom in die Antriebsspulen fließen würde. Eine Rechnung zeigt, daß ein Spannungsabfall von 275 mV in einem Widerstand 20 von 16 000 Ohm auftritt, wenn der Strom 17,2 Mikroampere beträgt.

Die Arbeitslinie wird daher in dem Diagramm I so gezogen, daß sie die Kollektorspannungssachse bei -275 mV und die Kollektorstromachse bei 25 17,2 Mikroampere schneidet. Auf jedem Punkt dieser Linie zeigt die senkrechte Projektion die Kollektorspannung für diesen besonderen Kollektorstrom an, korrigiert für einen ohmschen Spannungsabfall ($I \cdot R$) bei 16 000 ohmigen Antriebsspulen. Diese 30 Arbeitslinie schneidet die V_{eb} -70-mV-Kurve C9 bei einem Kollektorpotential von -50 mV. Für diese Kollektorspannung und Basisspannung beträgt der Kollektorstrom 14 Mikroampere. Mit anderen Worten, für einen Wert von -275 mV, gewonnen durch Abzug der Batteriespannung von der in den Antriebsspulen zum Zeitpunkt von 66,5% der Periode induzierten Spannung, zu welchem Zeitpunkt die Basisspannung -70 mV ist, beträgt die Kollektorspannung -50 mV und gibt einen Antriebsstrom von 14 Mikroampere in diesem Augenblick. Dies kann als Punkt *a* 35 in dem Diagramm IV für den Antriebsstrom und die Zeit eingezeichnet werden. Die übrige Kurve erhält man in gleicher Weise.

Ein sorgfältiges Studium des Diagramms IV des 40 Antriebssstromes in Abhängigkeit von der Zeit zusammen mit den verschiedenen Faktoren, die zur Natur dieses Antriebssimpulses beitragen, enthüllt die Wirksamkeit dieses Stromkreises zur Beschränkung der Stimmgabelamplitude in den notwendigen Grenzen. Das Diagramm IV zeigt typische Stromverhältnisse bei normaler Amplitude. Die Fläche unter der Kurve für den Antriebsstrom in Abhängigkeit von der Zeit ist natürlich etwa proportional der Energie, die den Stimmgabelantriebsspulen während einer besonderen Periode zugeführt wird.

Wenn diese Energie geringer als die gesamten Energieverluste pro Periode ist, so nimmt die Stimmgabelamplitude ab. Diese Abnahme hat eine verhältnismäßig kleine Wirkung auf die Basisspannung während des Zeitraumes, in dem sie negativ ist. Der anfängliche Anstieg des Anstiegsstromimpulses bleibt daher ungefähr der gleiche, wie er in Diagramm IV dargestellt ist. Jedoch steigt der Mittelteil der Antriebsstrom-Zeit-Kurve an infolge des größeren Wertes der Kollektorspannung während des Antriebssimpulses, so daß mehr Energie pro Impuls geliefert wird. Dieser Prozeß setzt sich fort, und die 55

Amplitude nimmt ab, bis der Energiedurchgang pro Periode genau gleich den gesamten Verlusten pro Periode wird, worauf die Amplitude konstant bleibt. Im Diagramm IV sind Änderungen in dem Mittelteil 5 der Kurve, die von Amplitudenänderungen herühren, in unterbrochenen Linien dargestellt.

Wie bereits erwähnt, ist ein fester Wert für die Amplitude für den Stimmgabelmechanismus nicht erforderlich. Es ist nur nötig, daß die normale 10 Amplitude innerhalb $33\frac{1}{3}\%$ des Wertes bleibt, für den der Mechanismus entworfen worden ist, oder daß die Amplitude schnell in diesen Bereich zurückgebracht wird, wenn sie durch einen mechanischen Stoß eine Störung erlitten hat. Es wurde gefunden, daß der hier offenbare elektronische Antriebskreis die Amplitude in den erforderlichen Bereich in einem kleinen Bruchteil einer Sekunde zurückbringt nach einer großen Störung der Amplitude.

Die Erfahrung hat außerdem gezeigt, daß die normale Amplitude für einen weiten Bereich von Verhältnissen fast konstant bleibt; beispielsweise führt eine verhältnismäßig große Änderung der Reibung des Getriebes zum Antrieb der Zeiger zu einer zu vernachlässigenden Änderung der normalen Amplitude. Obwohl sich die Kennlinien eines Germanium-Transistors bekanntlich stark mit der Temperatur ändern, arbeiten Uhren mit diesem Stromkreis ohne merkliche Änderung der Amplitude bei 0 bis 40°C .

Es wurde festgestellt, daß die Stimmgabelantriebsimpulse als Funktion der Differenz zwischen der Batteriespannung und der Spitzenspannung, die in den Antriebsspulen induziert wird, schwanken. Diese Spannungsdifferenz ist normalerweise klein im Vergleich mit der induzierten Spitzenspannung, was verhältnismäßig große Änderungen der Spannungsdifferenz bei kleinen Änderungen der Amplitude ergibt. Wird beispielsweise angenommen, daß die Differenzspannung 5% des Spitzenwertes der induzierten Spannung bei normalen Amplituden beträgt, so führt ein Abfall der Stimmgabelamplitude von nur 5% zu einer 100%igen Erhöhung der Differenz zwischen Batteriespannung und induzierter Spannung, wodurch eine starke Erhöhung des Antriebssstromes hervorgerufen wird.

Es dürfte nun ersichtlich sein, daß, wenn die Stimmgabel bei einer sehr niedrigen Amplitude arbeiten würde, vielleicht einen Moment nach Beginn der Schwingung, ein großer Stromimpuls den Antriebsspulen zugeführt werden würde, was ein schnelles Anwachsen der Amplitude ergeben würde. Wenn die Amplitude zunimmt, so wird die Differenz zwischen der Batteriespannung und der Spitze der induzierten Spannung in den Antriebsspulen geringer, so daß die Antriebssimpulse, wie bereits erwähnt, reduziert werden. Wenn ein bestimmter Amplitudenstand erreicht ist, so werden diese Antriebssimpulse auf den Punkt reduziert, an dem sie genau mit der Energie übereinstimmen, die während jeder Stimmgabelschwingungsperiode durch die Windungen, Hysteresis, Reibung usw. verloren geht, und die Amplitude behält ihren Wert bei. Mit anderen Worten, die Amplitude wird auf dem Wert gehalten, bei dem die Eingangsenergie pro Schwingungsperiode genau dem Verlust an Energie pro Schwingungsperiode entspricht. Offensichtlich ist die Stimmgabelamplitude sehr empfindlich gegen die Batteriespannung. Denn eine Änderung der Batteriespannung um einen bestimmten Prozentsatz verursacht eine Änderung der Amplitude

um den gleichen Prozentsatz. Jedoch haben die zur Zeit zur Verfügung stehenden Quecksilberzellen die Eigenschaft, eine sehr konstante Spannung für etwa 99% ihrer brauchbaren Lebensdauer beizubehalten.

5

PATENTANSPRÜCHE:

1. Zeithaltendes elektrisches Gerät, z. B. elektrische Uhr, vorzugsweise Armbanduhr, mit einer selbsterregten, in ihrer Eigenfrequenz durch elektromagnetische Antriebssysteme in Schwingung unterhaltenen Stimmgabel als zeitbestimmendes und zugleich die Uhr antreibendes Schwingglied unter Verwendung einerseits eines kontaktlosen elektronischen Stimmgabelsenders, d. h. eines eine Stimmgabel als Frequenzgenerator enthaltenden elektronischen Schwingkreises, vorzugsweise mit einer Transistorschaltung, der auf die Stimmgabel, diese antreibend, zurückwirkt, andererseits einer mechanisch an die Stimmgabel angeschlossenen, die Schwingung der Stimmgabel in eine Drehbewegung umsetzenden Übertragungsvorrichtung zum Antrieb des Zeigerwerkes, wobei jeder Gabelzinken einen permanenten Topfmagneten, welcher im Feld einer ortsfesten, einen rohrförmigen Träger umfassenden Spule schwingen kann, aufweist und die eine Spule, die Antriebsspule, zwischen den Emitter- und Kollektorelektroden, die andere Spule, die Abfühlspule, zwischen den Emitter- und Basiselektroden, jeweils in Reihe geschaltet, liegt, gekennzeichnet durch die Verwendung von zwei der Abfühlspule im Eingangskreis elektrisch im Ausgangskreis zugeordneten, vorzugsweise in Reihe geschalteten Triebspulen, jedoch in derart abgewandelter Be- messung der beiden Triebspulen und in einer derartigen räumlichen Anordnung der einen Triebspule zur Abfühlspule, daß die Gesamtlänge der auf beiden Seiten der Stimmgabeln angeordneten ortsfesten Spulen, trotz erheblich kleiner Abmessung der Steuerspule im Verhältnis zur Triebspulenlänge, annähernd gleich ist.

2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abfühlspule (28) und die zweite Antriebsspule (27) auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger (29) nebeneinander aufgewickelt sind.

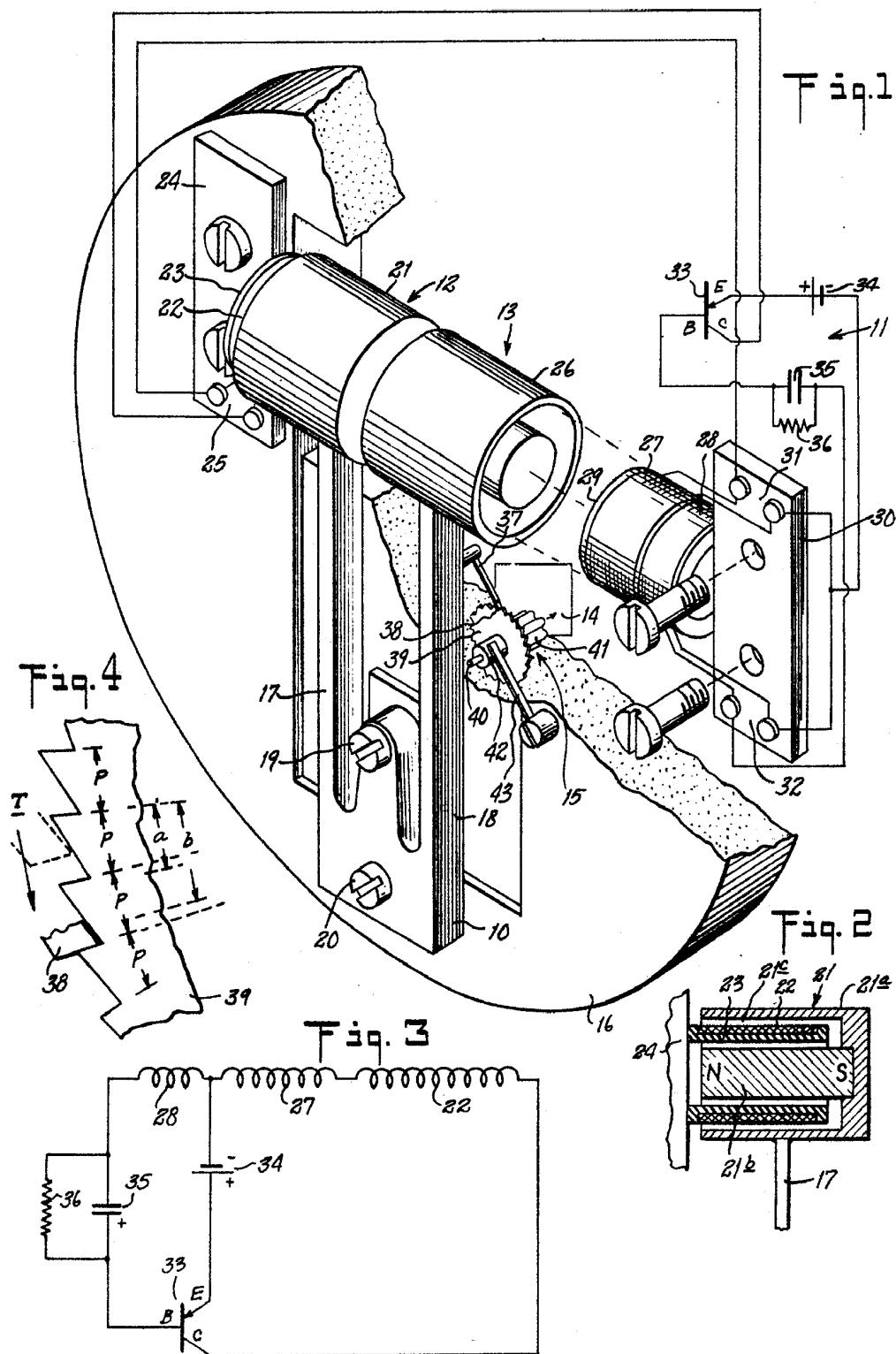
3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abfühlspule (28) und die zweite Antriebsspule (27) auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger (29) übereinander aufgewickelt sind.

4. Gerät nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der Windungen der Abfühlspule (28) etwa gleich einem Fünftel der Gesamtwindungszahl beider Antriebsspulen (22, 27) ist.

5. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einem *RC*-Glied im Kreis der Abfühlspule mit einer im Verhältnis zur Schwingungsperiode großen Zeitkonstante derart, daß infolge zeitweiliger positiver Vorspannung der Transistor während des größten Teils der Schwingungsperiode gesperrt ist, nach Patentanmeldung B 40212 VIII d/83 b, dadurch gekennzeichnet, daß die Abfühlspule (28) und die beiden Triebspulen (22, 27) so bemessen und angeordnet sind, daß sie im Verhältnis zur Batteriespannung eine große Gegen-EMK aufweisen, daß ferner die ohmschen Widerstände der Triebspulen und der gewählte Arbeitsbereich des Transistors so abgestimmt sind, daß plötzliche Amplitudenschwankungen, z. B. infolge von Stößen, rasch selbsttätig kompensiert werden, ohne die Frequenz nachhaltig zu beeinflussen.

In Betracht gezogene Druckschriften:
 Französische Patentschriften Nr. 1 090 564,
 1 102 373, 1 134 560;
 bekanntgemachte (»délivrée«) Unterlagen des französischen Patents Nr. 1 143 675;
 deutsche Patentschrift Nr. 921 948;
 österreichische Patentschrift Nr. 189 648;
 USA.-Patentschrift Nr. 1 995 624.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen



F 5

