



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 Armanduhr, 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 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 Abfühls-
 5 pule, zwischen den Emitter- und Basiselektroden, jeweils in Reihe geschaltet, liegt. Geräte dieser Art sind bekannt. Dabei wird im allgemeinen nur eine Abfühls-
 10 pule der einen Gabelzinke, nur eine Trieb-
 15 spule der anderen oder beide Spulen gemeinsam einer Gabelzinke zugeordnet. Da die Abfühls-
 20 pule zur Erzeugung dieser Impulse schmaler sein kann als die Trieb-
 25 spule, die Zinkmagneten aber zur Vermeidung von Schwerpunktsverlagerungen die gleiche Masse
 30 haben müssen, so ergeben sich entweder unsymmetrische oder in jedem Falle ziemlich raumbeanspruchende Spulensysteme.

Sowohl bei über Transistoren gesteuerten »Unruh-Uhren« als auch bei elektrisch gesteuerten Stimmgabeln ist es freilich bereits bekannt, der Abfühls-
 35 pule des Eingangskreises im Ausgang des Transistors nicht nur eine Trieb-
 40 pule, sondern zwei Trieb-
 45 spulen zuzuordnen, um symmetrische Anordnungen zu erhalten; diese Symmetrie wird aber auch hier durch erhebliche Raumbanspruchung, insbesondere in der Bauhöhe, erkauft, was für Kleinuhren, vor allem flache Armanduhren, unerwünscht ist.

Wenn man nun bei dem eingangs erwähnten, zeithaltenden elektrischen Gerät, wie erfindungsgemäß vorgeschlagen wird, zwei der Abfühls-
 50 pule im Eingangskreis elektrisch im Ausgangskreis zugeordnete, vorzugsweise in Reihe geschaltete Trieb-
 55 spulen verwendet, jedoch in derart abgewandelter Bemessung der beiden Trieb-
 60 spulen und in einer derartigen räum-

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

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, Bienne (Schweiz),
 ist als Erfinder genannt worden

2

lichen Anordnung der einen Trieb-
 25 spule zur Abfühls-
 30 pule, daß die Gesamtlänge der auf beiden Seiten der Stimmgabeln angeordneten ortsfesten Spulen, trotz erheblich kleiner Abmessung der Steuerspule im Verhältnis zur Trieb-
 35 spule, 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 Armanduhren sehr wichtig ist.

Zweckmäßig ist es, die Abfühls-
 40 pule und die zweite Antriebsspule auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger nebeneinander aufzuwickeln. Die Abfühls-
 45 pule und die zweite Antriebsspule können aber auch auf dem zugeordneten rohrförmigen Träger übereinander aufgewickelt sein, wobei es sich empfiehlt, die Zahl der Windungen der Abfühls-
 50 pule etwa gleich einem Fünftel der Gesamtwindungszahl beider Antriebs-
 55 spulen zu wählen.

Die Erfindung wird an Hand eines Ausführungsbeispiels 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; soweit diese Prinzipien teilweise bereits Gegenstände eines älteren Vorschlages 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 Abfühlspeule (Generatorspeule) 28 zusammenwirkt. Die Antriebsspule 27 und die Abfühlspeule 28 sind nebeneinander auf einen rohrförmigen Träger 29 gewickelt, der an einem Montagestreifen 30 befestigt ist. In der Praxis kann die Abfühlspeule 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 Generatorspeule 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 gegen elektromotorische Kraft in der Antriebsspule und im Falle des Wandlers 13 auch in der Generatorspeule 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 Schwingungserzeuger 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 Stimmgabel 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 Generatorspeule 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 der 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 tangentialen 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. Jedoch 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 tangentialer 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 kombiniertes 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 (μ) 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 (V_{eb}) in Millivolt (mV). Die Kurve C1 ist die Kennlinie für eine Basisspannung (V_{eb}) 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 Basisspannung 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 ermöglicht, die Dauer und die Phasenlage des wirkamen Intervalls im Laufe einer vollen Schwingung zu bestimmen, während der der Antriebsstromimpuls erfolgt.

Die Kurven C3 bis C8 (keine oder negative Basisspannung) 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 V_{eb} verhältnismäßig gering ist, d. h. eine große Änderung der Kollektorspannung eine verhältnismäßig geringe Änderung des Kollektorstromes hervorruft. 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 Stimmgabel 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 Stimmgabelschwingung. 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 die 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 (V_{eb}) 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 Stimmgabelschwingung 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 V_{eb} angedeutet. Die Durchschnitts- V_{eb} 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 Stimmgabelschwingung ein positives Potential, wodurch der Stromfluß in den Kollektorkreis während dieser Zeit verhindert wird.

Die Kurve in Diagramm II zeigt eine volle Periode der Wechselladungswelle, 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 V_{eb} 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 Generatorspule 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 Spitze zu Spitze 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 nähernden Wert bis fast zum Doppelten der Batteriespannung.

Die Spulen und Magnete der Wandler sind so proportioniert, daß sie die gewünschte Amplitude des Klinkenhubs 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 Zahnabstandes des Klinkenrades zurücklegt. Die gewünschten Abmessungen können mathematisch berechnet oder empirisch bestimmt werden. Die Generatorspule 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 Antriebsstromes 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% 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 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 Kollektorspannungsachse bei -275 mV und die Kollektorstromachse bei 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 000ohmigen Antriebsspulen. Diese Arbeitslinie schneidet die *Veb-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* 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 Antriebsstromes in Abhängigkeit von der Zeit zusammen mit den verschiedenen Faktoren, die zur Natur dieses Antriebsimpulses 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 Antriebsimpulses, so daß mehr Energie pro Impuls geliefert wird. Dieser Prozeß setzt sich fort, und die

Amplitude nimmt ab, bis der Energieeingang pro Periode genau gleich den gesamten Verlusten pro Periode wird, worauf die Amplitude konstant bleibt. Im Diagramm IV sind Änderungen in dem Mittelteil 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 Amplitude innerhalb 33⅓% 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 offenbarte 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 Antriebsstromes 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 Antriebsimpulse, wie bereits erwähnt, reduziert werden. Wenn ein bestimmter Amplitudenstand erreicht ist, so werden diese Antriebsimpulse auf den Punkt reduziert, an dem sie genau mit der Energie übereinstimmen, die während jeder Stimmgabelschwingungsperiode durch die Windungen, Hysteresis, Reibung usw. verlorengeht, 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.

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 Kollektroelektroden, die andere Spule, die Abfühls-
 10
 15
 20
 25
 30
 35
 40
 45
 50
 55
 60
 65
 70
 75
 80
 85
 90
 95
 100
 105
 110
 115
 120
 125
 130
 135
 140
 145
 150
 155
 160
 165
 170
 175
 180
 185
 190
 195
 200
 205
 210
 215
 220
 225
 230
 235
 240
 245
 250
 255
 260
 265
 270
 275
 280
 285
 290
 295
 300
 305
 310
 315
 320
 325
 330
 335
 340
 345
 350
 355
 360
 365
 370
 375
 380
 385
 390
 395
 400
 405
 410
 415
 420
 425
 430
 435
 440
 445
 450
 455
 460
 465
 470
 475
 480
 485
 490
 495
 500
 505
 510
 515
 520
 525
 530
 535
 540
 545
 550
 555
 560
 565
 570
 575
 580
 585
 590
 595
 600
 605
 610
 615
 620
 625
 630
 635
 640
 645
 650
 655
 660
 665
 670
 675
 680
 685
 690
 695
 700
 705
 710
 715
 720
 725
 730
 735
 740
 745
 750
 755
 760
 765
 770
 775
 780
 785
 790
 795
 800
 805
 810
 815
 820
 825
 830
 835
 840
 845
 850
 855
 860
 865
 870
 875
 880
 885
 890
 895
 900
 905
 910
 915
 920
 925
 930
 935
 940
 945
 950
 955
 960
 965
 970
 975
 980
 985
 990
 995
 1000
 1005
 1010
 1015
 1020
 1025
 1030
 1035
 1040
 1045
 1050
 1055
 1060
 1065
 1070
 1075
 1080
 1085
 1090
 1095
 1100
 1105
 1110
 1115
 1120
 1125
 1130
 1135
 1140
 1145
 1150
 1155
 1160
 1165
 1170
 1175
 1180
 1185
 1190
 1195
 1200
 1205
 1210
 1215
 1220
 1225
 1230
 1235
 1240
 1245
 1250
 1255
 1260
 1265
 1270
 1275
 1280
 1285
 1290
 1295
 1300
 1305
 1310
 1315
 1320
 1325
 1330
 1335
 1340
 1345
 1350
 1355
 1360
 1365
 1370
 1375
 1380
 1385
 1390
 1395
 1400
 1405
 1410
 1415
 1420
 1425
 1430
 1435
 1440
 1445
 1450
 1455
 1460
 1465
 1470
 1475
 1480
 1485
 1490
 1495
 1500
 1505
 1510
 1515
 1520
 1525
 1530
 1535
 1540
 1545
 1550
 1555
 1560
 1565
 1570
 1575
 1580
 1585
 1590
 1595
 1600
 1605
 1610
 1615
 1620
 1625
 1630
 1635
 1640
 1645
 1650
 1655
 1660
 1665
 1670
 1675
 1680
 1685
 1690
 1695
 1700
 1705
 1710
 1715
 1720
 1725
 1730
 1735
 1740
 1745
 1750
 1755
 1760
 1765
 1770
 1775
 1780
 1785
 1790
 1795
 1800
 1805
 1810
 1815
 1820
 1825
 1830
 1835
 1840
 1845
 1850
 1855
 1860
 1865
 1870
 1875
 1880
 1885
 1890
 1895
 1900
 1905
 1910
 1915
 1920
 1925
 1930
 1935
 1940
 1945
 1950
 1955
 1960
 1965
 1970
 1975
 1980
 1985
 1990
 1995
 2000
 2005
 2010
 2015
 2020
 2025
 2030
 2035
 2040
 2045
 2050
 2055
 2060
 2065
 2070
 2075
 2080
 2085
 2090
 2095
 2100
 2105
 2110
 2115
 2120
 2125
 2130
 2135
 2140
 2145
 2150
 2155
 2160
 2165
 2170
 2175
 2180
 2185
 2190
 2195
 2200
 2205
 2210
 2215
 2220
 2225
 2230
 2235
 2240
 2245
 2250
 2255
 2260
 2265
 2270
 2275
 2280
 2285
 2290
 2295
 2300
 2305
 2310
 2315
 2320
 2325
 2330
 2335
 2340
 2345
 2350
 2355
 2360
 2365
 2370
 2375
 2380
 2385
 2390
 2395
 2400
 2405
 2410
 2415
 2420
 2425
 2430
 2435
 2440
 2445
 2450
 2455
 2460
 2465
 2470
 2475
 2480
 2485
 2490
 2495
 2500
 2505
 2510
 2515
 2520
 2525
 2530
 2535
 2540
 2545
 2550
 2555
 2560
 2565
 2570
 2575
 2580
 2585
 2590
 2595
 2600
 2605
 2610
 2615
 2620
 2625
 2630
 2635
 2640
 2645
 2650
 2655
 2660
 2665
 2670
 2675
 2680
 2685
 2690
 2695
 2700
 2705
 2710
 2715
 2720
 2725
 2730
 2735
 2740
 2745
 2750
 2755
 2760
 2765
 2770
 2775
 2780
 2785
 2790
 2795
 2800
 2805
 2810
 2815
 2820
 2825
 2830
 2835
 2840
 2845
 2850
 2855
 2860
 2865
 2870
 2875
 2880
 2885
 2890
 2895
 2900
 2905
 2910
 2915
 2920
 2925
 2930
 2935
 2940
 2945
 2950
 2955
 2960
 2965
 2970
 2975
 2980
 2985
 2990
 2995
 3000
 3005
 3010
 3015
 3020
 3025
 3030
 3035
 3040
 3045
 3050
 3055
 3060
 3065
 3070
 3075
 3080
 3085
 3090
 3095
 3100
 3105
 3110
 3115
 3120
 3125
 3130
 3135
 3140
 3145
 3150
 3155
 3160
 3165
 3170
 3175
 3180
 3185
 3190
 3195
 3200
 3205
 3210
 3215
 3220
 3225
 3230
 3235
 3240
 3245
 3250
 3255
 3260
 3265
 3270
 3275
 3280
 3285
 3290
 3295
 3300
 3305
 3310
 3315
 3320
 3325
 3330
 3335
 3340
 3345
 3350
 3355
 3360
 3365
 3370
 3375
 3380
 3385
 3390
 3395
 3400
 3405
 3410
 3415
 3420
 3425
 3430
 3435
 3440
 3445
 3450
 3455
 3460
 3465
 3470
 3475
 3480
 3485
 3490
 3495
 3500
 3505
 3510
 3515
 3520
 3525
 3530
 3535
 3540
 3545
 3550
 3555
 3560
 3565
 3570
 3575
 3580
 3585
 3590
 3595
 3600
 3605
 3610
 3615
 3620
 3625
 3630
 3635
 3640
 3645
 3650
 3655
 3660
 3665
 3670
 3675
 3680
 3685
 3690
 3695
 3700
 3705
 3710
 3715
 3720
 3725
 3730
 3735
 3740
 3745
 3750
 3755
 3760
 3765
 3770
 3775
 3780
 3785
 3790
 3795
 3800
 3805
 3810
 3815
 3820
 3825
 3830
 3835
 3840
 3845
 3850
 3855
 3860
 3865
 3870
 3875
 3880
 3885
 3890
 3895
 3900
 3905
 3910
 3915
 3920
 3925
 3930
 3935
 3940
 3945
 3950
 3955
 3960
 3965
 3970
 3975
 3980
 3985
 3990
 3995
 4000
 4005
 4010
 4015
 4020
 4025
 4030
 4035
 4040
 4045
 4050
 4055
 4060
 4065
 4070
 4075
 4080
 4085
 4090
 4095
 4100
 4105
 4110
 4115
 4120
 4125
 4130
 4135
 4140
 4145
 4150
 4155
 4160
 4165
 4170
 4175
 4180
 4185
 4190
 4195
 4200
 4205
 4210
 4215
 4220
 4225
 4230
 4235
 4240
 4245
 4250
 4255
 4260
 4265
 4270
 4275
 4280
 4285
 4290
 4295
 4300
 4305
 4310
 4315
 4320
 4325
 4330
 4335
 4340
 4345
 4350
 4355
 4360
 4365
 4370
 4375
 4380
 4385
 4390
 4395
 4400
 4405
 4410
 4415
 4420
 4425
 4430
 4435
 4440
 4445
 4450
 4455
 4460
 4465
 4470
 4475
 4480
 4485
 4490
 4495
 4500
 4505
 4510
 4515
 4520
 4525
 4530
 4535
 4540
 4545
 4550
 4555
 4560
 4565
 4570
 4575
 4580
 4585
 4590
 4595
 4600
 4605
 4610
 4615
 4620
 4625
 4630
 4635
 4640
 4645
 4650
 4655
 4660
 4665
 4670
 4675
 4680
 4685
 4690
 4695
 4700
 4705
 4710
 4715
 4720
 4725
 4730
 4735
 4740
 4745
 4750
 4755
 4760
 4765
 4770
 4775
 4780
 4785
 4790
 4795
 4800
 4805
 4810
 4815
 4820
 4825
 4830
 4835
 4840
 4845
 4850
 4855
 4860
 4865
 4870
 4875
 4880
 4885
 4890
 4895
 4900
 4905
 4910
 4915
 4920
 4925
 4930
 4935
 4940
 4945
 4950
 4955
 4960
 4965
 4970
 4975
 4980
 4985
 4990
 4995
 5000
 5005
 5010
 5015
 5020
 5025
 5030
 5035
 5040
 5045
 5050
 5055
 5060
 5065
 5070
 5075
 5080
 5085
 5090
 5095
 5100
 5105
 5110
 5115
 5120
 5125
 5130
 5135
 5140
 5145
 5150
 5155
 5160
 5165
 5170
 5175
 5180
 5185
 5190
 5195
 5200
 5205
 5210
 5215
 5220
 5225
 5230
 5235
 5240
 5245
 5250
 5255
 5260
 5265
 5270
 5275
 5280
 5285
 5290
 5295
 5300
 5305
 5310
 5315
 5320
 5325
 5330
 5335
 5340
 5345
 5350
 5355
 5360
 5365
 5370
 5375
 5380
 5385
 5390
 5395
 5400
 5405
 5410
 5415
 5420
 5425
 5430
 5435
 5440
 5445
 5450
 5455
 5460
 5465
 5470
 5475
 5480
 5485
 5490
 5495
 5500
 5505
 5510
 5515
 5520
 5525
 5530
 5535
 5540
 5545
 5550
 5555
 5560
 5565
 5570
 5575
 5580
 5585
 5590
 5595
 5600
 5605
 5610
 5615
 5620
 5625
 5630
 5635
 5640
 5645
 5650
 5655
 5660
 5665
 5670
 5675
 5680
 5685
 5690
 5695
 5700
 5705
 5710
 5715
 5720
 5725
 5730
 5735
 5740
 5745
 5750
 5755
 5760
 5765
 5770
 5775
 5780
 5785
 5790
 5795
 5800
 5805
 5810
 5815
 5820
 5825
 5830
 5835
 5840
 5845
 5850
 5855
 5860
 5865
 5870
 5875
 5880
 5885
 5890
 5895
 5900
 5905
 5910
 5915
 5920
 5925
 5930
 5935
 5940
 5945
 5950
 5955
 5960
 5965
 5970
 5975
 5980
 5985
 5990
 5995
 6000
 6005
 6010
 6015
 6020
 6025
 6030
 6035
 6040
 6045
 6050
 6055
 6060
 6065
 6070
 6075
 6080
 6085
 6090
 6095
 6100
 6105
 6110
 6115
 6120
 6125
 6130
 6135
 6140
 6145
 6150
 6155
 6160
 6165
 6170
 6175
 6180
 6185
 6190
 6195
 6200
 6205
 6210
 6215
 6220
 6225
 6230
 6235
 6240
 6245
 6250
 6255
 6260
 6265
 6270
 6275
 6280
 6285
 6290
 6295
 6300
 6305
 6310
 6315
 6320
 6325
 6330
 6335
 6340
 6345
 6350
 6355
 6360
 6365
 6370
 6375
 6380
 6385
 6390
 6395
 6400
 6405
 6410
 6415
 6420
 6425
 6430
 6435
 6440
 6445
 6450
 6455
 6460
 6465
 6470
 6475
 6480
 6485
 6490
 6495
 6500
 6505
 6510
 6515
 6520
 6525
 6530
 6535
 6540
 6545
 6550
 6555
 6560
 6565
 6570
 6575
 6580
 6585
 6590
 6595
 6600
 6605
 6610
 6615
 6620
 6625
 6630
 6635
 6640
 6645
 6650
 6655
 6660
 6665
 6670
 6675
 6680
 6685
 6690
 6695
 6700
 6705
 6710
 6715
 6720
 6725
 6730

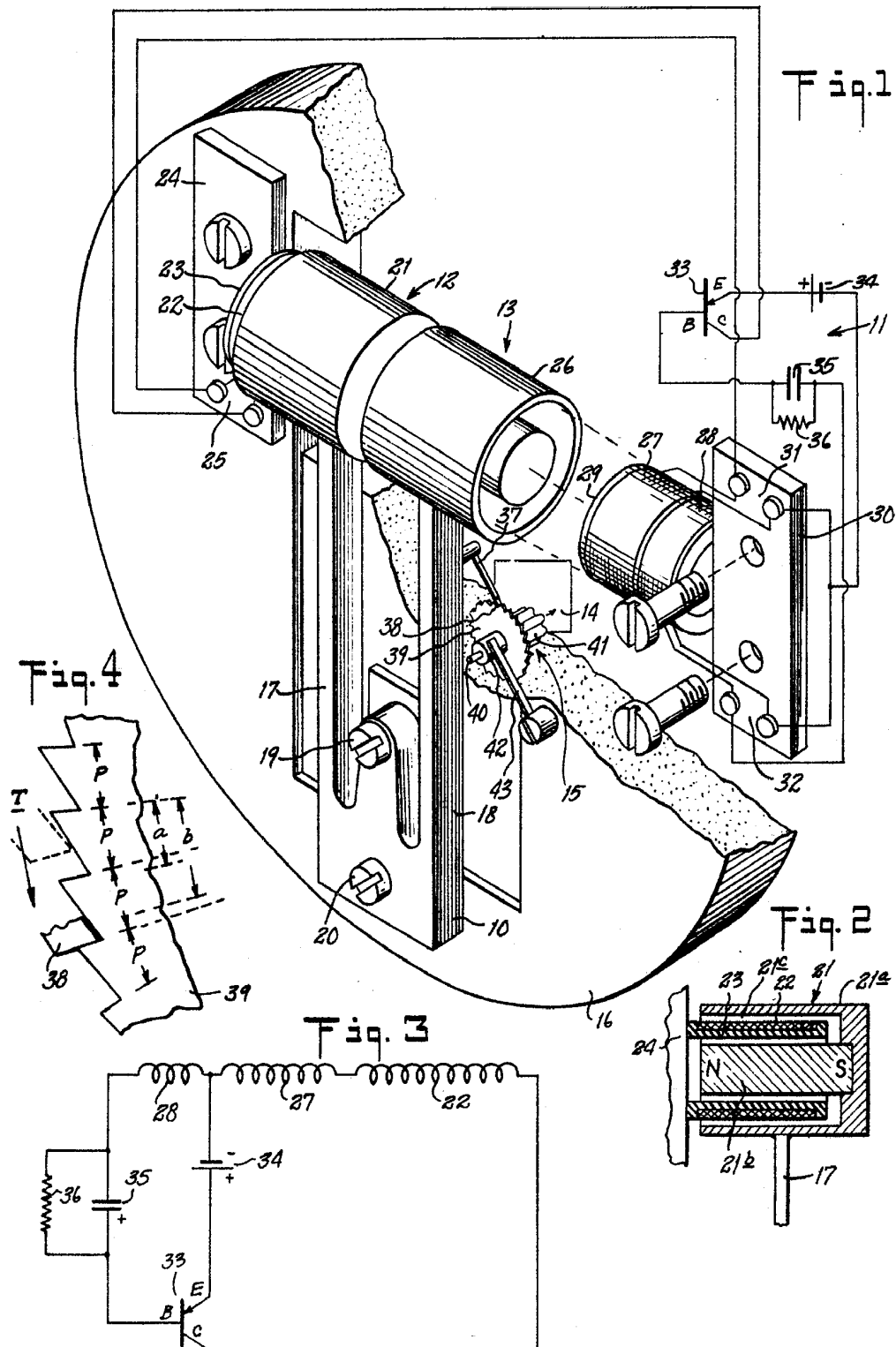


Fig. 5

