

Diverse Artikel zur Bulova Accutron

Bulova nun mit „Elektronenuhr“

Als neuestes Ergebnis ihrer Forschung hat neuerdings die amerikanische Bulova Watch Company, Inc., eine Armbanduhr herausgebracht, die — praktisch erstmalig in der Geschichte — ohne die seit dem 17. Jahrhundert als im Uhrenbau unabdingbar bekannte Spiralfeder arbeitet.

Diese völlig neuartige Konstruktion benutzt als Antrieb eine Art Stimmgabel, die flach im Gehäuse liegt und deren beide Zinken mit winzigen konischen Magneten besetzt sind. Durch die Vibration der Stimmgabel bewegen sich diese Magneten in ebenso winzigen Wicklungen und erzeugen dadurch einen elektrischen Strom. Diese Ladung wird in einen Transistor geführt, der eine elektrische Zelle zur Abgabe eines größeren Stroms veranlaßt, der wiederum in die Miniatur-Elektromagneten fließt. Auf diese Weise bleibt die Stimmgabel beständig bei einer Vibrationsgeschwindigkeit von genau 360 Schwingungen pro Minute.

Natürlich hat diese Uhrenkonstruktion keinen Grund mehr zum „Ticken“: — sie gibt einen feinen Summton ab, der etwas über dem F der mittleren C-Skala liegt. — Die mechanische Kraftübertragung verläuft von der schwingenden Gabel über eine Feder mit Stein Spitze auf ein Zahnrad von rund 1,5 mm Durchmesser, das etwa 300 Zähne aufweist. Von dort ab setzt sich der Antrieb über ein Räderwerk von althergebrachter Bauweise fort.

Die Firma Bulova garantiert, daß ihre neue elektronische Uhr (die unter dem Namen **ACCUTRON** auf den Markt gelangt) in 30 Tagen nicht mehr als eine Minute variieren wird. Das billigste Modell dieser Serie kostet im Einzelhandel \$ 175.00 (etwa 735,— DM). HED

Das Ei des Columbus

So oder ähnlich bezeichnet man Dinge, die durch ihre Einfachheit und durch die Genialität ihrer Erfindung verblüffen. Es kommt nur darauf an, im richtigen Moment die richtige Idee zu haben. Diese richtige Idee hatte Uhrmachermeister Menken, als er mit seinen ersten Versuchen begann, mit einfachen aufgeschnittenen Ringen runde unzerbrechliche Uhrgläser zu ersetzen, ohne dabei das Werk aus dem Gehäuse nehmen zu müssen. Das war der Beginn einer Entwicklung, die schließlich zur Bestlösung, den Ultra-Ringen, führte. Flume entwickelte aus dieser Idee nach langen Versuchsreihen ein Spezialwerkzeug, das gegenüber bekannten Werkzeugen gleicher oder ähnlicher Art kaum zu vergleichende Vorteile besitzt:

Das komplette Werkzeug „Flume-Ultra-Ringe“ besteht aus einem Satz von 25 aufgeschnittenen Einzelringen, gestuft um 5/10 mm von 205/10 bis 325/10 mm, jeder Ring mit Maßangabe. Sämtliche Ringe sind übersichtlich geordnet in einer Klarsicht-Verpackung, deren Unterteil als Fach zur Aufnahme der Vorspannzange ausgebildet ist. In den Boden dieses Faches sind von außen her die Aufnahme-Schablonen eingefräst, deren wichtige Bedeutung Sie noch erkennen werden.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß das Ersetzen von Gläsern bei wasserdichten Uhren oft Anlaß zu manchem Ärger gibt, denn außer dem zeitraubenden Ausbau und Einbau des Werkes kommen nicht

selten weitere Komplikationen hinzu. Wir brauchen dabei nur an die Partie des Aufzuges zu denken. Geraten Rainurerad und Transmissionsrad aus ihrer Lagerung und springt der Zeigerstellhebel aus seiner Führungsnute, dann werden zusätzliche Arbeiten notwendig, die das einfache Einsetzen eines Glases zu einem Verlustgeschäft werden lassen, denn die tatsächlich aufgewendete Arbeitszeit steht in keinem Verhältnis mehr zu dem erzielten Erlös. Deshalb auch die Forderung: Runde Uhrgläser risikolos in kurzer Zeit ohne jegliche Gefahr der zusätzlichen nicht honorierten Mehrarbeit ersetzen. Das schaffen Sie jetzt einfach und sicher mit den Flume-Ultra-Ringen.

Hiermit aber nicht genug. Dadurch, daß die Gläser jetzt einfach abgehoben und dann wieder eingesetzt werden können, ergeben sich eine ganze Reihe von Möglichkeiten, auch andere Arbeitsgänge rationeller durchzuführen, als es bisher allgemein in den Uhrmacherwerkstätten üblich war. Ohne Werkausbau sind zum Beispiel noch folgende Arbeiten schnell und sicher zu erledigen:

a) *Wenn Zeiger streifen*, können sie ohne Werkausbau jetzt leicht gerichtet werden. Diese Fehler treten häufig nach Überholungen und nach Ersetzen eines neuen Glases auf.

b) *Wenn Zeiger ersetzt* werden müssen, braucht nur das Glas abgehoben zu werden und schon liegt das Zifferblatt frei für diese Arbeiten.

c) *Wenn Leuchtmasse ergänzt* werden soll, dann wird man diese wenig gewinnbringende Arbeit am besten nur noch nach dieser neuen Methode erledigen.

d) *Wenn Zifferblattkeile befestigt oder ersetzt* werden müssen, dann ist die Arbeit mit den Ultra-Ringen nicht nur praktisch, sondern auch zweckmäßig, denn das Zifferblatt wirkt erst zusammen mit dem Gehäuse harmonisch, und darauf sollte man bei allen Zifferblattarbeiten achten.

e) *Verstaubte Zifferblätter* können leicht und schnell gesäubert werden. Ein Vorteil, der Ihnen auch im Rahmen Ihres Kundendienstes von Nutzen sein kann.

Nun zur eigentlichen Funktion der Ultra-Ringe. Wie bereits gesagt, sind die Ringe um 5/10 gestuft, im Gegensatz zu den unzerbrechlichen Uhrgläsern, die um 2/10 mm gestuft sind. Das hat jedoch keinerlei Bedeutung, denn die Ultra-Ringe federn nach innen und nach außen, so daß sich der Ring in seinem Maßbereich jeder Glasgröße anpaßt. Das Glas wird im ganzen Umfang vorgespannt und nicht nur an einzelnen Punkten. Dadurch ist jegliche Beschädigung oder Deformierung von Glas und Glasrand durch irgendwelche scharfen Kanten von Greifern oder Zangen ausgeschlossen. Mit den Ultra-Ringen lassen sich alle unzerbrechlichen Uhrgläser der modernen Fertigung (N, H, Hw) abheben und einsetzen.

Grundsätzliches zum elektronischen Zeitmesser

Technische Angaben über die Accutron der Bulova

Über die neue elektronische Uhr der amerikanischen Bulova Watch Company haben wir bereits in unserer vorigen Ausgabe einige kurze Hinweise gegeben (siehe „Die Uhr“ Nr. 23/60 Seite 35). Heute können wir unseren Lesern im einzelnen die Angaben zu dieser Neuschöpfung machen, die für jeden Uhrenfachmann von Bedeutung sind. D. Red.

Die von der Bulova Watch Company, Inc., geschaffene Accutron wurde auf Grund von Zeitmeßprinzipien entwickelt, die bisher in einer Armbanduhr noch nie verwendet wurden. Das neue Gerät stellt eine Synthese von Uhrentechnik, Geschicklichkeit, von Erfindungsgeist, moderner Elektronik und Mikrominiaturisierung dar. Wie bei den üblichen Kleinuhren geben die Zeiger die genaue Zeit an, doch ist der Mechanismus, der sie antreibt, etwas gänzlich Neues. Nicht nur steht die Accutron als eine einzigartige Erfindung da; sie ist auch leistungsmäßig weit überlegen.

Die Firma Bulova garantiert, daß die Accutron bei normalem Gebrauch nicht mehr als eine Minute im Monat vor- oder nachgeht. Obschon es schwierig ist, zwischen Gebrauchsuhren Vergleiche zu ziehen, da die Gewohnheiten des Verbrauchers und die Prüfmethode sehr verschieden sind, kann man doch behaupten, die Accutron sei viel genauer als eine übliche gute Qualitäts-Armbanduhr.

Die Einzigartigkeit der Accutron und die außergewöhnliche Verbesserung ihrer Ganggenauigkeit im Vergleich zu andern Uhren werden durch drei wesentliche Unterschiede gekennzeichnet.

Der auffallendste Unterschied liegt im Laut. Alle herkömmlichen Uhren — einschließlich mechanisch aufgezogene, automatische und elektrische — ticken; das Tick bedeutet die periodische Freilassung von Energie durch Eingriff der Hemmung-, Unruh- und Spiralfedermechanismen, wodurch das Räderwerk die Zeiger fortbewegt. Die Accutron tickt nicht — sie summt, und zwar wird dieses Summen durch die 360 Schwingungen je Sekunde einer ganz kleinen, elektromagnetisch erregten Stimmgabel und durch den damit verbundenen Übertragungsmechanismus erzeugt.

Ein anderer augenfälliger Unterschied ist das Fehlen einer Aufzugs- und Zeigerstellwelle. Eine Aufzugswelle ist nicht notwendig, weil die Accutron durch eine knopfgroße Batterie angetrieben wird und nicht aufgezogen werden muß. Der Zeigerstellungsmechanismus auf der Rückseite der Uhrenschale wird durch einen kleinen, versenkbaren, bügelartigen Hebel betätigt neben dem Schraubendeckel, der die Gehäuseöffnung für die Batterie hermetisch abschließt. Dieser Zeigerstellhebel kann mit dem Fingernagel in Stellung gebracht werden.

Der dritte Unterschied ist der gleichmäßige Gang des großen Sekundenzeigers. In gewöhnlichen Uhren bewegt sich dieser Zeiger ruckweise vorwärts; diese auffällige ruckweise Bewegung rührt von den Impulsen der durch Unruh und Spiralfeder gesteuerten Hemmung her. In der Accutron führt der Sekundenzeiger eine scheinbar stoßfreie, gleichmäßige Drehbewegung aus, obschon er in Wirklichkeit 360mal in der Sekunde vorrückt.

Raumfahrt-Zeitalter — Elektronik am Handgelenk

In der Accutron dürften die elektronischen Errungenschaften des Raumfahrt-Zeitalters wohl erstmals zur Bequemlichkeit des Privatmenschen eingesetzt worden sein; außerdem ist der neue Zeitmesser so genau, daß er auch den strengsten Erfordernissen der Wissenschaft entspricht. Auf dem Gebiet der Gebrauchsuhren bringt die Accutron die erste umwälzende Neuerung seit der Erfindung von Unruh und Spiralfeder vor etwa 300 Jahren.

Die Einzigartigkeit der neuen Uhr beruht auf folgenden Besonderheiten:

1. Wahl einer Präzisions-Stimmgabel als Zeitnormal.
2. Bahnbrechende Anwendung eines kompletten elektronischen Stromkreises für die spezifischen Aufgaben eines tragbaren Zeitmessers.
3. Erfolgreiche Verkleinerung des gesamten Stromkreises und des Mechanismus bis auf eine Größe von 8 cm³.
4. Entwicklung eines hochleistungsfähigen Mechanismus mit Stromkreis, der so wenig Kraft benötigt, daß das eingebaute Element eine Lebensdauer von mindestens 12 Monaten besitzt.

Zusammenfassend kann die Accutron als eine durch eine schwingende Stimmgabel gesteuerte Armbanduhr bezeichnet werden. Die durch einen „transistorisierten“ Stromkreis regulierte Energie der Kraftquelle bringt die Stimmgabel zum Schwingen. Diese regelmäßigen Schwingungen (360 Perioden je Sekunde) werden mechanisch in Drehbewegungen umgewandelt, die von einem Räderwerk auf die Zeiger übertragen werden.

Ausschaltung vieler „konventioneller“ Bestandteile

Grundsätzlich enthält eine gewöhnliche Kleinuhr eine Triebfeder, eine Hemmung, eine Unruh mit Spiralfeder und einen Aufzugmechanismus. Die Accutron besitzt keine solchen Bestandteile.

Die Accutron hat 12 bewegliche Teile gegenüber 19 in Uhren mit Handaufzug und 26 in automatischen Uhren.

Die Entwicklung der Werke mit Selbstaufzug, die sich in letzter Zeit einer steigenden Beliebtheit erfreuten, wurden neben andern Verbesserungen wie dem wasserdichten Gehäuse und der unzerbrechlichen Triebfeder als ein grundlegender Fortschritt in der Uhrenkonstruktion begrüßt. Der manuelle Aufzug war abgeschafft, jedoch bedingte dies den Einbau zusätzlicher komplizierter, beweglicher Bestandteile.

Die neueste Errungenschaft im Uhrenkonstruieren war die elektrische Uhr, in der als Motor die Triebfeder durch eine Batterie ersetzt wurde. In dieser Konstruktion fiel das Aufziehen ebenfalls weg, doch blieb die Unruh bestehen, die eigentlich das schwächste Organ und somit die größte Störungsquelle einer Uhr darstellt. Auch brachten die Ein- und Ausschaltkontakte der elektrischen Uhr weitere Schwierigkeiten mit sich.

Die Accutron enthält weder Unruh- noch Hemmungsmechanismus, weder komplizierte Vorrichtungen noch Unterbrecherkontakte.

Auch wurde die Accutron so entworfen, daß sie von Uhrmachern kontrolliert und repariert werden kann.

Vizepräsident William O. Bennett, der die Abteilung für Forschung und Studien der Bulova leitet und seit sechs Jahren an der Entwicklung und Herstellung der Accutron mitarbeitet, erklärt, daß dieser neue Zeitmesser im Kleinuhrensektor einen ebenso bedeutenden Fortschritt gegenüber gewöhnlichen Uhren darstelle wie auf dem Gebiete der Wissenschaft die elektronische Quarzuhr im Vergleich zur Pendeluhr.

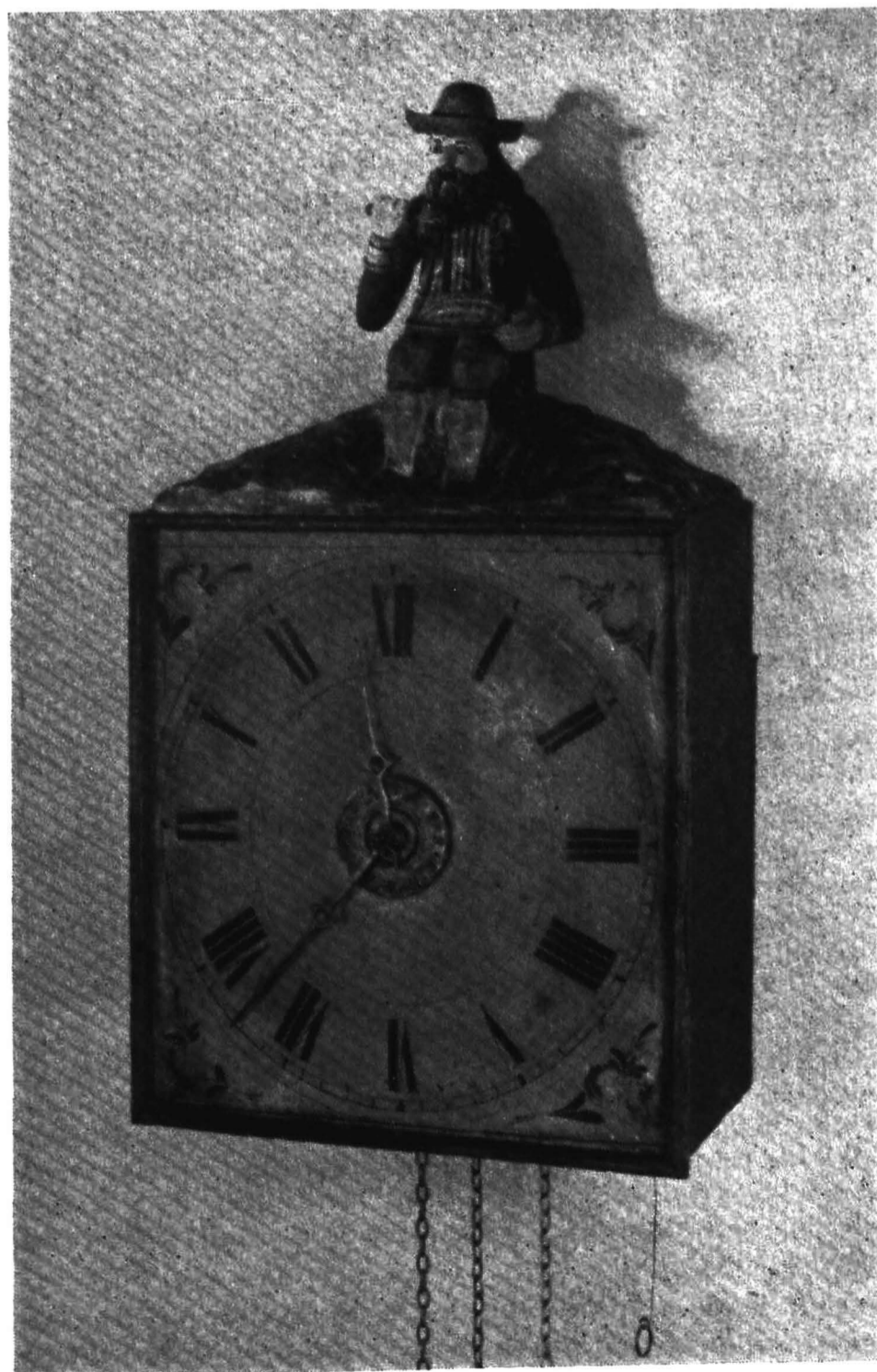
Warum die Accutron genauer läuft

Bennett gibt für die Überlegenheit der Accutron in bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Leistung folgende Gründe an:

1. Die Accutron verwendet die Schwingungen einer Präzisions-Stimmgabel an Stelle derjenigen einer Unruh als Grundlage zur Zeitmessung, so daß die Vorrichtung durch das Verhalten des Trägers,stellungs- und Isochronismusfehler praktisch nicht beeinflußt wird.
2. Die Zeitmeßleistung der Accutron ist von der Ölung unabhängig; in den gewöhnlichen Uhren ist die richtige Schmierung von Teilen wie Unruhzapfen von lebenswichtiger Bedeutung.
3. Die Accutron besitzt ein „schwebendes“, drehkraftfreies Räder-

Knödelfresser — Ein Freund von Knödeln muß der Erfinder dieser kuriosen Uhr gewesen sein. Auf dem Kasten der Uhr sitzt die Figur eines Schwarzwälder Bauern in seiner bunten Tracht. In der linken Hand hält er eine auf den Knien ruhende Platte mit vielen Knödeln. Stündlich führt er mit einer zweizinkigen Gabel einen Knödel, den er mit den Augen verfolgt, nach dem gierig zuschnappenden Mund, und zwar so oft, wie die Stunde geschlagen hat. Wohl bekomm's kann man da nur noch sagen.

M. Hamacher



werk; in andern Kleinuhren wird der Gang durch das Drehmoment der Triebfeder beeinflusst. Da die Getriebe der Accutron ausschließlich Bewegungen übertragen, werden sie so schwach beansprucht, daß die Lager praktisch keine Abnutzung erfahren.

4. Die Konstruktion der Accutron, die in ihrer Konzeption einheitlich ist und viele bewegliche Bestandteile ausschaltet, ist infolgedessen viel zuverlässiger.

Die Stimmgabel ist das Herz der Accutron

Der größte Unterschied zwischen einer Accutron und einer gewöhnlichen Kleinuhr ist der Gebrauch einer Stimmgabel als Zeitnormal statt der traditionellen Unruh mit Spiralfeder. Stimmgabeln werden seit vielen Jahren als Tonlehre verwendet. Wenn man die Gabel anschlägt oder „zupft“, gerät sie in Schwingungen, wobei sie stets den gleichen Ton erzeugt.

Die Frequenz dieser Schwingungen bleibt bei einer Stimmgabel gleicher Abmessungen konstant. Stimmgabeln sind die Zeitlehre, die in den „Watchmaster“ Uhrengangprüfgeräten gebraucht werden, um die Genauigkeit konventioneller Uhren zu prüfen. Die in der Accutron verwendete Stimmgabel ist ungefähr 2,5 cm lang. Sie wird elektrisch angetrieben, so daß sie ständig mit der ihr eigenen Frequenz von 360 Perioden je Sekunde schwingt. An einer der Gabelzinken ist eine kleine fingerartige Klinkfeder befestigt. An deren Ende ist ein Stein eingesetzt, der in die Zähne eines Sperrrads eingreift. Die Schwingungen der Stimmgabel bewirken ein Hin- und Hergehen der steinbestückten Klinkfeder, die das Sperrrad um einen Zahn je Periode vorwärtstreibt. Es ist also das durch die Schwingungen der Stimmgabel in Drehung versetzte Sperrrad, welches das mit den Zeigern verbundene Räderwerk betätigt.

Eine zweite steinbestückte Feder ist an der Platine des Werks befestigt und dient als Sperr- oder Hebefeder; ihre Aufgabe besteht darin, das Sperrrad während des Rückgangs der Klinkfeder in Stellung zu halten.

Die Steine der Klink- und der Hebefeder sind so klein, daß etwa 7800 erforderlich wären, um ein Zehnrappenstück zu bedecken.

Die Mikroverkleinerung in der Vorrichtung ist wahrscheinlich am besten durch das Sperrrad dargestellt. Es mißt 2,5 mm im Durchmesser und ist ungefähr 0,038 mm dick (etwa der halbe Durchmesser eines Menschenhaars). Dennoch weist es 300 genau bearbeitete Sperrzähne auf. Jeder Zahn ist von seinem Nachbarn durch eine Entfernung von einem fünfundzwanzigstel Millimeter getrennt — was ungefähr einem Drittel des Durchmessers eines menschlichen Haares entspricht. Dieses Sperrrad besteht aus einer Speziallegierung aus Kupfer und Beryllium.

Ein zuverlässiger Schaltantrieb

Obschon die Stimmgabel eine spezifische Frequenz aufweist, wäre es praktisch unmöglich, die Weite jeder Schwingung konstant zu halten, da Vibrationen, Stöße usw. auf die Uhr einwirken. Die Konstruktion des Schaltantriebs sichert einen von der Schwingweite unabhängigen, zuverlässigen Gang.

Bei der Profilierung der Teile wurden die durch die Steine der Antriebsklinke und der Sperrfeder ausgeübten elastischen Kräfte berücksichtigt. Diese sind doppelwirkend: einerseits drücken sie die steinbestückten Federn gegen die Zähne; andererseits üben sie eine „Gegendrehkraft“ auf das Sperrrad aus. Diese Erscheinung trifft man auch in den gewöhnlichen Kleinuhren an: es ist der sogenannte „Zug“, der die Gabel gegen den Begrenzungsstift drückt.

Sehen wir nun, was im Laufe einer Schwingperiode geschieht, wobei wir voraussetzen, daß beim „Start“ ein Zahn des Schalt- oder Sperrrads in den Stein der Hebefeder eingreift, während der Stein der Klinkfeder auf der halben Länge eines Zahns, mehrere Zähne hinter der Hebefeder, ruht.

Bei normalem Gang beträgt der Exkurs der Klinkfeder zwei Zähne. Beim „Start“ ruht sie auf einem halben Zahn. Bei Beginn der Bewegung geht die Klinkfeder um einen halben Zahn zurück, fällt in die folgende Zahnücke und gleitet nochmals um einen halben Zahn zurück. Dann vollführt sie eine Gegenbewegung, wobei sie um einen halben Zahn vorgeht und gegen die hintere Flanke des Zahns stößt, den sie soeben verlassen hat. In der Folge verschiebt sie diesen Zahn um eine Länge von anderthalb Zähnen. In der ersten Hälfte der

nun einsetzenden Rückbewegung, die die Klinkfeder in ihre Ausgangslage zurückversetzt, geht das Sperrad zurück und wird durch den Stein der Hebelfeder gestoppt. Die Klinkfeder setzt ihre Bewegung fort, geht um einen weiteren halben Zahn zurück, während das Rad unbeweglich bleibt.

Zusammenfassend kann man also feststellen, daß das Schaltrad bei jeder Periode der Stimmgabel um anderthalb Zähne vorwärts- und um einen halben Zahn zurückdreht, was einem Vorrücken um einen Zahn entspricht.

Wenn sich also eine Änderung der Schwingweite dahin auswirken sollte, daß sich die Antriebsklinke nur um einen Zahn oder sogar um drei Zähne verschöbe, so würde das Schaltrad trotzdem nur um einen Zahn je Periode vorrücken, einerseits infolge der Lage der Klinkfeder auf dem Rad und andererseits wegen der auf letzteres durch die Sperrfeder während des Rückgangs der Klinkfeder ausgeübten Bremswirkung.

Beschreibung des elektromagnetischen Systems

Die „chronometrische“ Tätigkeit der Stimmgabel und des Schaltwerks ist eine mechanische Funktion. Das System, das die Stimmgabel erregt und steuert, ist hingegen elektromagnetischer Natur: es besteht aus einer Batterie, einem „transistorisierten“ Elektronenstromkreis und einem elektromagnetischen Aggregat. Letzteres ist an den Enden der Stimmgabelzinken montiert. Es besteht aus zwei Hülssen aus Weicheisen, die rechts und links von den Zinken liegen. In jeder dieser Hülssen befindet sich ein kegelförmiger Magnet. Zwischen der Hülse und dem Kern besteht ein starkes Magnetfeld.

Im Innern jedes Magnetfeldes befindet sich eine Spule; sie besteht aus isoliertem Draht, der um einen zylindrischen Kern aus Kunststoff gewickelt ist. Diese Krone oder Spulenkörper sind an der Platine befestigt, so daß die Wicklungen starr bleiben. Beide Magnet-systeme bewegen sich, wenn die Stimmgabel schwingt. Wird durch eine dieser Antriebsspulen ein Strom geleitet, so wird sie zu einem Elektromagneten, wobei sie je nach ihrer Polarität das entsprechende Magnetsystem anzieht oder abstößt. Wenn umgekehrt Magnethülle und -kern durch die schwingende Stimmgabel betätigt werden, so wird in der Spule ein Wechselstrom induziert.

Eine der Spulen trägt eine Wicklung von 8000 Windungen, die andere eine von 6000. Die übrigbleibenden 2000 Windungen bilden eine dritte Spule in der Spule, die als Phasenvergleich-Wicklung bezeichnet wird. Die Aufgabe dieser Wicklung besteht darin, den genauen Augenblick zu bestimmen, in welchem Stromimpulse durch die Spulen gesandt werden sollen, damit die Schwingungen der Stimmgabel unterhalten werden.

Die Spulen sind 3,8 mm lang und ihr Durchmesser beträgt 4,6 mm. Die Wicklung jeder Spule ist etwa 90 m lang. Der Draht ist 0,015 mm dick, was dem Fünftel des Durchmessers eines Menschenhaars entspricht. Ein englisches Pfund (453 g) dieses Drahts hätte eine Länge von etwa 200 Meilen (322 km).

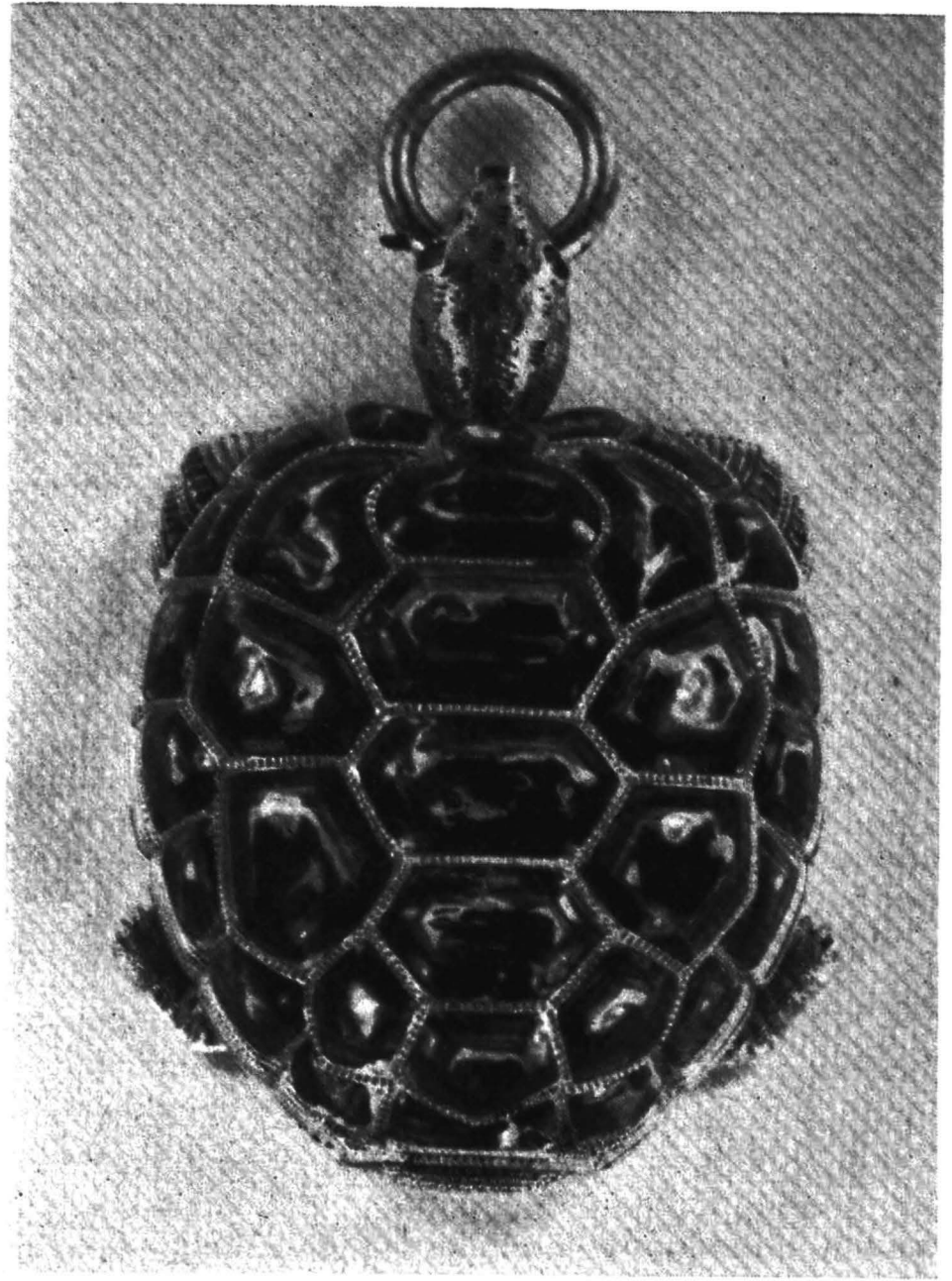
Spulen und Magnete haben eine dreifache Aufgabe:

1. Anregung der Stimmgabel durch Umwandlung der an die Spulen abgegebenen Stromimpulse in mechanische Impulse.
2. Konstanthaltung der Schwingungen der Stimmgabel durch Feststellung der bei jeder Periode induzierten Wechselspannung.
3. Bestimmung des Zeitpunktes, in dem die motorischen Impulse an die Spulen abgegeben werden müssen.

Ein elektronischer Stromkreis, der nur 0,000 008 W verbraucht

Der elektronische Teil des elektromagnetischen Systems ist ein Ein- und Ausschalt-Stromkreis, der eine Kraft von etwa 8 Millionstelwatt (0,000 008 W) erfordert. Dies entspricht ungefähr 10 Milliardstel einer Pferdestärke. Im Vergleich würde die von einem elektrischen Toaster zum Rösten einer Brotscheibe benötigte Kraft genügen, um die Accutron etwa 250 Jahre lang anzutreiben.

Die Energiequelle der Accutron ist ein 1,3-V-Quecksilberelement. Der Stromkreis kann als zwei miteinander verbundene Hälften betrachtet werden; diese sind mit einem Kraftelement und einem Transistor gekoppelt. Der Transistor spielt die Rolle eines elektro-



Schildkrötenuhr — Langes Leben und Glückseligkeit bedeutet dem Chinesen ein Amulett in Form einer Schildkröte. Was lag näher als daß die Schweizer Uhrenkünstler nur noch Uhren hergestellt haben, die in der Form einer Schildkröte gearbeitet waren.

Das Uhrenmuseum konnte kürzlich eine solche goldene Schildkrötenuhr erwerben, die ein Seemann der „Bremen“ vor dem letzten Krieg in einem chinesischen Hafen beim Trödler gekauft hatte.

Die Uhr ist aus schwerem 18 kt. Gold, bunt emailliert, besitzt als Augen zwei Smaragde. Durch einen Druck auf die Schnauze springt das Oberteil auf und gibt den Blick auf das Zifferblatt frei. Sie wird mit einem kleinen goldenen Schlüssel aufgezogen. M. Hamacher

nischen Relais, das bei jeder Schwingperiode einen Stromimpuls aussendet. Die eine Hälfte des Stromkreises enthält die Antriebsspulen, die ihn mit Stromimpulsen speisen sollen, wobei die Konstanz der Schwingweite durch das Zusammenwirken der in den Spulen induzierten Wechselspannung und der Spannung des Elements gesichert wird.

Der andere Teil des Stromkreises besteht aus einem Kondensator mit Widerstand und aus dem Phasenvergleich. Seine Funktionen bestehen darin, den Transistor auszulösen, damit er Strom an die Antriebsspulen abgibt, und genau zu bestimmen, wann diese Impulse erfolgen sollen.

Die Wirkungsweise ist folgende: die in der Phasenvergleich-Wicklung induzierte Wechselspannung wird derjenigen des Elements beigefügt und der Kondensator damit aufgeladen. Der Strom fließt durch die „Basis“ des Transistors, der als Diode oder Gleichrichter wirkt. Der Widerstand hat im Kondensator ein „Auslaufen“ zur Folge, so daß dieser bei jeder Schwingperiode durch den Spitzenwert der in der Phasenvergleich-Wicklung induzierten Wechselspannung wieder aufgeladen wird. Durch diese Auflade-Impulse wird der „Basis“-Stromkreis des Transistors vorübergehend leitend, so daß das Relais einen kurzen Augenblick geschlossen wird.

Durch dieses kurze Abschließen des Relais bei jeder Periode wird der Transistor leitend und entsendet in die Antriebsspulen Stromimpulse, die die Schwingungen der Stimmgabel erhalten.

Der Schlüssel ist die Kontrolle der Schwingweite

Eine wesentliche Aufgabe des Stromkreises besteht darin, die Schwingweite zu steuern und ihren richtigen Wert bei Störungen aufrechtzuerhalten. Die vorhin beschriebene Schalteinrichtung läuft auch bei einem weiten Schwingbereich sicher und regelmäßig. Aufgabe des Steuersystems ist es, darüber zu wachen, daß dieser Bereich in keinem Fall überschritten wird.

Diese Aufrechterhaltung der angemessenen Schwingweite wird durch eine Kontrolle der Größe der an die Antriebsspulen abgegebenen Stromimpulse gesichert. Der „Kollektor“-Stromkreis des Transistors wird in dem Augenblick leitend, in welchem die induzierte Spannung ungefähr ihren höchsten Momentanwert erreicht und die dem Kraftelement entgegengesetzte Polarität aufweist. Ist die Schwingweite der Stimmgabel solcher Art, daß die in den Spulen beim Leitendwerden des Transistors induzierte Spannung derjenigen des Elements gleichkommt, wird kein Strom durchfließen, da diese induzierte Spannung jene des Kraftelements neutralisiert. Der Aufbau Magnet/Spule ist derart kombiniert, daß, wenn die Schwingweite der Stimmgabel ihren gewünschten Wert erreicht, die in den Spulen induzierte Spannung etwa 10% unter derjenigen des Kraftelements liegt. Aus diesem Grunde wird eine von irgendeiner Störung herrührende Erhöhung der Schwingweite um 10% die Stromimpulse auf Null bringen, so daß die Schwingweite sofort wieder auf ihren richtigen Wert zurückkehrt. Umgekehrt bewirkt eine zehnpromtente Verringerung der Schwingweite eine Verdoppelung der Stromimpulse, so daß die Stimmgabel ebenfalls wieder zu der angemessenen Schwingweite zurückkehrt.

Weitere Merkmale der Accutron

Neben der Einzigartigkeit ihrer Konzeption und ihrer überragenden Genauigkeit weist die neue Accutron noch verschiedene Eigenheiten

auf, die sie von den herkömmlichen Armbanduhren unterscheiden: Sie ist die einzige Kleinuhr, die eine spezifische Genauigkeitsgarantie besitzt — eine Minute Gangabweichung im Monat oder weniger bei normalem Gebrauch.

Die besonders konstruierte Quecksilber-Batterie, die einer Batterie für Schwerhörige gleicht, gewährleistet einen ununterbrochenen Gang von mindestens einem Jahr. Sie kann über zwei Jahre lang gelagert werden. Die Ersatz-Batterie kostet 1,50 \$. Um sie einzusetzen, braucht man nur den im Boden angebrachten Runddeckel loszuschrauben.

Die meisten Modelle sind wasserdicht, alle sind antimagnetisch.

Die Accutron ist so gebaut, daß ihr Gang im Bereiche von -7° bis $+50^{\circ}$ C normal bleibt. Am Handgelenk getragen wird die Uhr übrigens in den meisten Fällen eine Temperatur aufweisen, die nur um wenige Grade höher oder niedriger ist als die des Körpers. Zusätzlich zu ihren chronometrischen Vorteilen wurde die Accutron so gebaut, daß sie weniger Unterhalt und weniger größere Reparaturen erfordert als gewöhnliche Uhren. Stromkreis- und Spulensystem sowie das gesamte Stimmgabelsystem sind standardisiert, so daß sie als Ganzes herausgenommen und ausgewechselt werden können. Die Methoden zum Reparieren oder Ersetzen der andern Organe sind den Uhrmachern gut bekannt.

Die im Hinblick auf Unterhalt angewandten Grundsätze bedeuten ebenfalls eine Abkehr vom „Ticktack-Zeitalter“. Die bisherigen Uhren mußten alle 12 Monate geölt und gereinigt werden. Solche Präventivmaßnahmen sind notwendig, um die wegen der allmählichen Zersetzung des Öls erfolgende Abnutzung der Uhrsteine und der Zapfen zu verhüten. In bezug auf Unterhalt wendet Bulova den Grundsatz an, daß die Dienste der Uhrmacher nur dann beansprucht werden sollen, wenn eine Beschädigung oder ein mangelhafter Gang festgestellt wird.

Wie erfolgt die Feinstellung der elektronischen Uhr

Bulova Accutron*

SUZ, 1964, 12

Der Gang einer gebräuchlichen Uhr hängt von der Frequenz der Halbschwingungen ihrer Unruh ab. Diese Frequenz wird wiederum von der Länge der Spirale und dem Trägheitsmoment der Unruh bestimmt. Eine klassische Uhr wird deshalb feingestellt, d.h. man lässt sie schneller oder langsamer schwingen, in dem man die aktive Länge der Spirale oder das Trägheitsmoment der Unruh ändert. Zur Erzielung der ersten Korrektur verlagert man den Räder. Der Verlagerungswert wird durch die Bewegung einer Spitze über einer gravierten Teilung auf dem Unruhkloben angezeigt.

Zur Regulierung der Feinstellung einer elektronischen Uhr Bulova Accutron wird die Frequenz ihrer Stimmgabel geändert. Die Feinstellung der Accutron erfolgt mittels zweier winziger Gewichte, die als « Reguliermassen » bezeichnet werden und auf den Schalen der Stimmgabel stecken (Fig. 1). Wie der Räder einer gebräuchlichen Uhr sind diese Reguliermassen mit satter Reibung befestigt und können mit einem Holzstäbchen gedreht werden. Die Verdrehung einer Reguliermasse verlagert den Schwerpunkt der Stimmgabel und beschleunigt oder

verlangsamt den Gang der Accutron, je nach der Drehrichtung.

Die Reguliermassen Accutron sind aus zwei Gründen mit Zähnen versehen :

1. Zur leichtern Verdrehung.
2. Zum Messen der Verdrehung im Verhältnis zum Merkpunkt auf der Basis der Schalen.

Jede Reguliermasse weist sieben Teilungen auf, nämlich vier Zähne und drei Lücken (Fig. 2). Jede dieser Teilungen entspricht einer Gangänderung von zwei Sekunden in 24 Stunden. Mit andern Worten : durch die Verlagerung einer Reguliermasse um eine ganze Teilung verändert man den Gang der Accutron um zwei Sekunden pro Tag. Feinstellungen um eine halbe Sekunde pro Tag können erzielt werden durch Verlagerung einer Reguliermasse um eine Viertelteilung. Am Merkzeichen oben auf der Schale kann der Wert der Verdrehung mühelos ermittelt werden.

Eine Gangkorrektur kann sowohl an einer, wie an beiden Reguliermassen vorgenommen werden ; eine Retusche von vier Sekunden kann z.B. durch Verlagerung einer einzigen Reguliermasse um zwei Teilungen, wie durch Verlagerung der beiden Reguliermassen um eine Teilung erzielt werden.

Da jede Reguliermasse 7 Teilungen aufweist (jede Teilung entspricht 2 Sekunden pro Tag), ist es derart möglich, eine maximale Korrektur von 28 Sekunden pro Tag vorzunehmen.

Die Genauigkeit der elektronischen Uhr Accutron ist von Anfang an derart, dass eine Gangkorrektur von mehr als einigen Sekunden pro Tag nie notwendig wird. Eine Accutron, die in der Woche mehr als eine Minute vor- oder nachgeht, benötigt eine Revision und nicht eine Feinstellung.

* Gesch. Marke



Fig. 1. Die Reguliermassen der Accutron.
Fig. 1. — Les clavettes de réglage de l'Accutron.

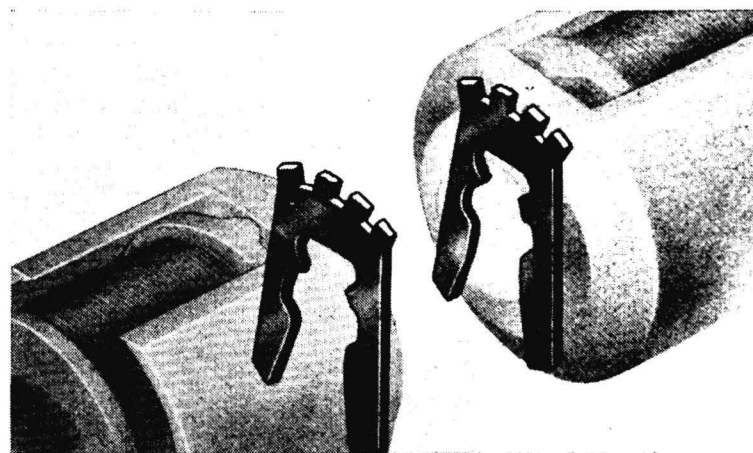


Fig. 2. Man beachte die sieben Teilungen der Reguliermassen.
Fig. 2. — Les sept divisions de chaque clavette de réglage.

ZERLEGEN

(Fig. 3 und 4, 1 bis 5)

1. Den Sonderschlüssel für wasserdichte Gehäuse verwenden und den Verschlussring lösen.
2. Den Verschlussring abnehmen.
3. Den Bügel des Schlüssels für die Zeigerstellung aufstellen, damit der Gehäuseboden leichter entfernt werden kann.
4. Den Gehäuseboden abheben und darauf achten, dass er nicht seitlich verlagert wird; die Dichtung wird im Gehäuse belassen.
5. Das Uhrwerk bleibt im Gehäuse. Die Feinstellung erfolgt, ohne dass das Uhrwerk ausgebaut oder die Batterie zurückgezogen wird.

FEINSTELLUNG

(Fig. 5 und 6)

6. Mit einem Holzstäbchen eine oder beide Reguliermassen um die für die gewünschte Korrektur nötigen Teilungen nach der entsprechenden Seite verschieben. Eine Verlagerung der Reguliermasse in Richtung nach dem Uhrwerkrand (Fig. 5) bewirkt einen Nachgang; eine Verlagerung nach der Werkmitte ergibt einen Vorgang (Fig. 6).

SCHLIESSEN DES GEHÄUSEBODENS NACH DER FEINSTELLUNG

(Fig. 3 und 4, 6 bis 8)

7. Der Verschlussring muss richtig eingelegt sein. Den Gehäuseboden auf das Gehäuse setzen und die Welle der Zeigerstellung sorgfältig in ihre Passung (siehe Abb. 4) einrasten. Der Boden ist mit einem Nocken versehen, der in die Gehäuse-nute eingeführt wird zur Zentrierung des Bodens. (Würde die Dichtung während dem Arbeitsgang 3 entfernt, so wird sie vor dem Aufsetzen des Bodens eingelegt.)
8. Den Schlüssel der Zeigerstellung um mindestens eine halbe Drehung verlagern, damit das Wellenviereck in das Zeigerstellrad einrastet.
9. Den Bügel des Schlüssels für die Zeigerstellung herunter klappen.
10. Den Verschlussring einsetzen und mit dem Schlüssel für wasserdichte Uhren festziehen.
11. Die Wasserdichtheit prüfen, bevor die Accutron ihrem Besitzer wieder ausgehändigt wird.

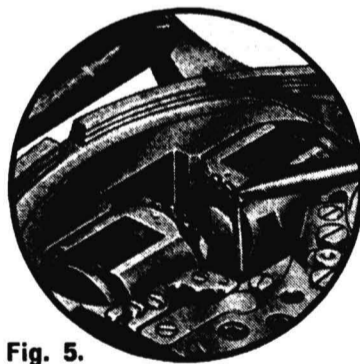


Fig. 5.

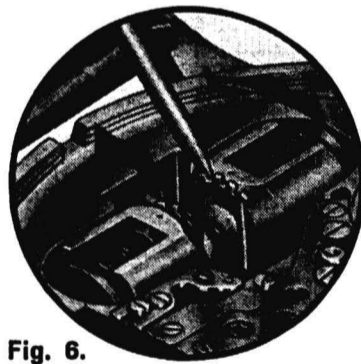


Fig. 6.

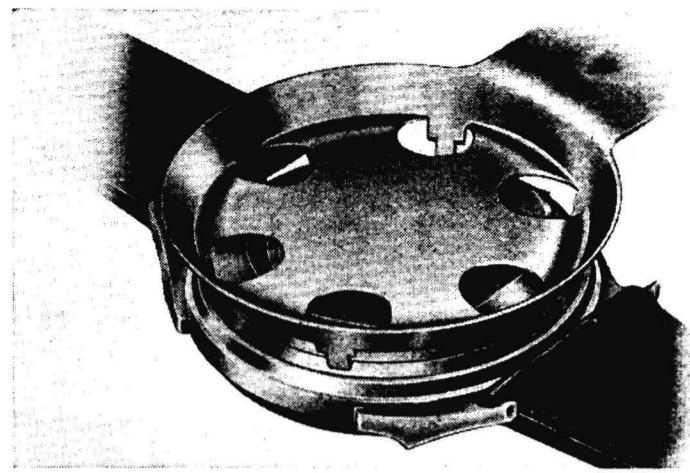
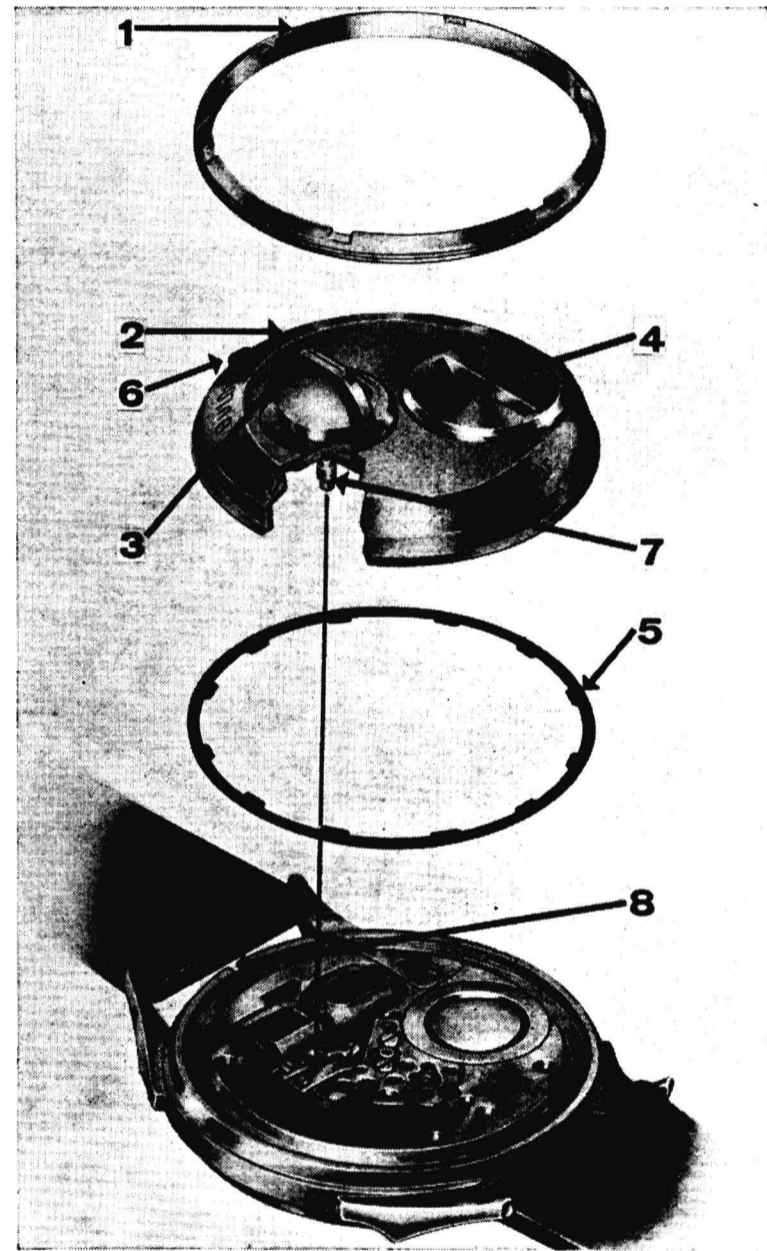


Fig. 3. Der Sonderschlüssel für wasserdichte Gehäuse. Zum Öffnen: im Uhrzeiger-Gegendrehung drehen.

Fig. 3. — La clé spéciale pour boîte étanche. Pour ouvrir: tournez dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Fig. 4. 1 Verschlussring; 2 Gehäuseboden; 3 Bügel des Schlüssels der Zeigerstellung; 4 Deckel für Batterienische; 5 Dichtung; 6 Nocken; 7 Welle für Zeigerstellung; 8 Nute für Nocken.

Fig. 4. — 1) bague filetée; 2) fond; 3) anneau de la clé de mise à l'heure; 4) couvercle du logement de la pile; 5) joint; 6) tenon d'orientation; 7) tige de mise à l'heure; 8) encoche pour tenon d'orientation.



Die Stimmgabel als Frequenznormal und ihre Verwendung in der elektronischen Uhr

1. Einführung

Die Genauigkeit der Messung physikalischer Größen ist durch die Jahrhunderte ständig verbessert worden und erreichte besonders in den letzten Jahrzehnten einen fast unwirklich hohen Stand der Vollkommenheit. Man bedenke, daß heute Atomuhren bestehen, die Genauigkeiten bis etwa 10^{-11} aufweisen, was soviel wie eine Sekunde Zeitabweichung in dreitausend Jahren bedeutet. Dennoch wünscht z. B. die Regierung ein Zeitinstrument zu besitzen, welches noch eine hunderttausendmal höhere Genauigkeit aufweisen soll. Solche Meßgenauigkeiten sind unvorstellbar und können nur mit der physikalischen Größe „Zeit“ angestrebt werden. Andere Größen, wie Maße und Längenmaß, sind zwar ebenfalls sehr hohen Meßgenauigkeiten zugänglich, doch reichen sie nicht an die Genauigkeitswerte der Zeitmessung. Weitere Größen, wie Energie, elektrische Spannung, elektrischer Strom, Kraft usw., sind weniger exakt bestimmbar, und nur mit sehr großem Aufwand werden Meßgenauigkeiten von 10^{-4} erreicht, wird doch ein Voltmeter, das die Spannung auf ein Prozent genau aufzeigt, schon als gutes Instrument bewertet, obwohl dann seine Meßgenauigkeit nur 10^{-2} ist.

Die Meßgenauigkeit irgendeines Instrumentes hängt weitgehend von der Stabilität der Bauteile ab, die das Meßresultat bestimmen. Die Stabilität der Bauteile ist der Grad der Unempfindlichkeit gegen alle erdenklichen Einflüsse, wie Temperatur, Alterung, Korrosion, Druck, Feuchtigkeit, Erschütterung usw. Einflüsse wie Alterung, Korrosion usw. lassen auch vermuten, daß die Kurzzeitstabilitäten höher ausfallen müssen, als Langzeitstabilitäten, und darum sollte die Meßgenauigkeit eines Instrumentes noch mit einer Zeitintervallangabe verknüpft sein. Aus diesem Grunde ist der vorangehende Vergleich einer Zeitgenauigkeit von 10^{-11} mit einer Sekunde Abweichung in dreitausend Jahren nicht korrekt, denn die Wahrscheinlichkeit, daß während dieser Zeitspanne Störungen und Beeinflussungen auftreten, ist viel zu groß.

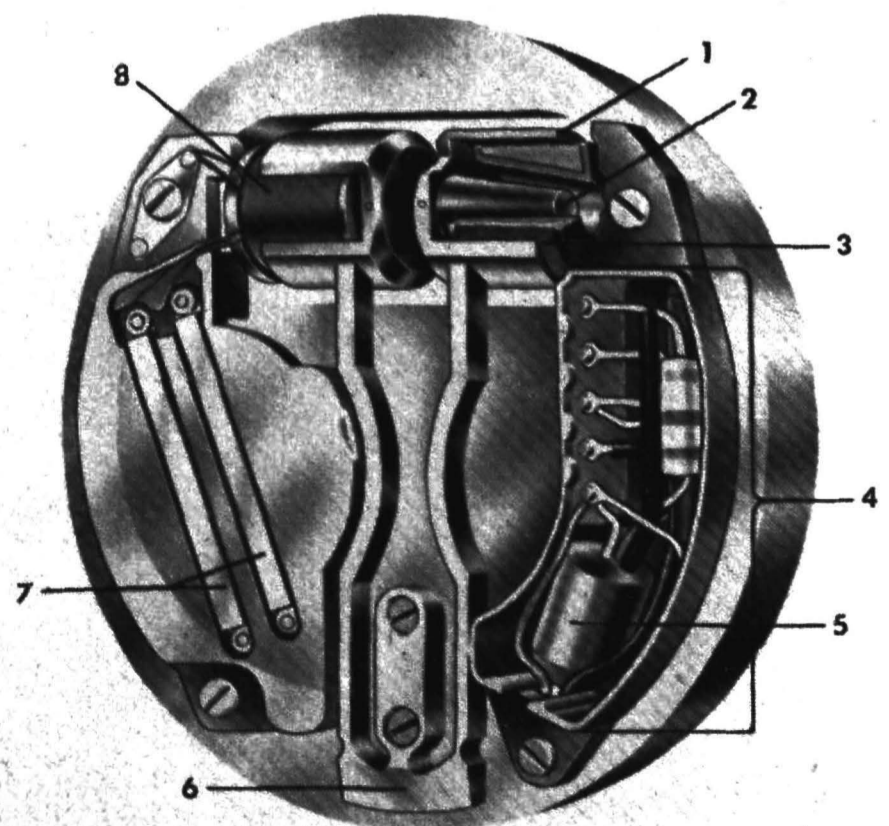
Wenn wir uns fragen, warum die Zeitmessung besonders genau durchgeführt werden kann, so finden wir, daß wir vorerst die Atomzeitnormale von allen übrigen Zeitnormalen abtrennen müssen, denn ihr Genauigkeitswert gründet sich auf quantenmechanische Vorgänge, die sich im wesentlichen in der Elektronenhülle des einzelnen Atomes abspielen. Daß man in einer Atomuhr eine Unmenge

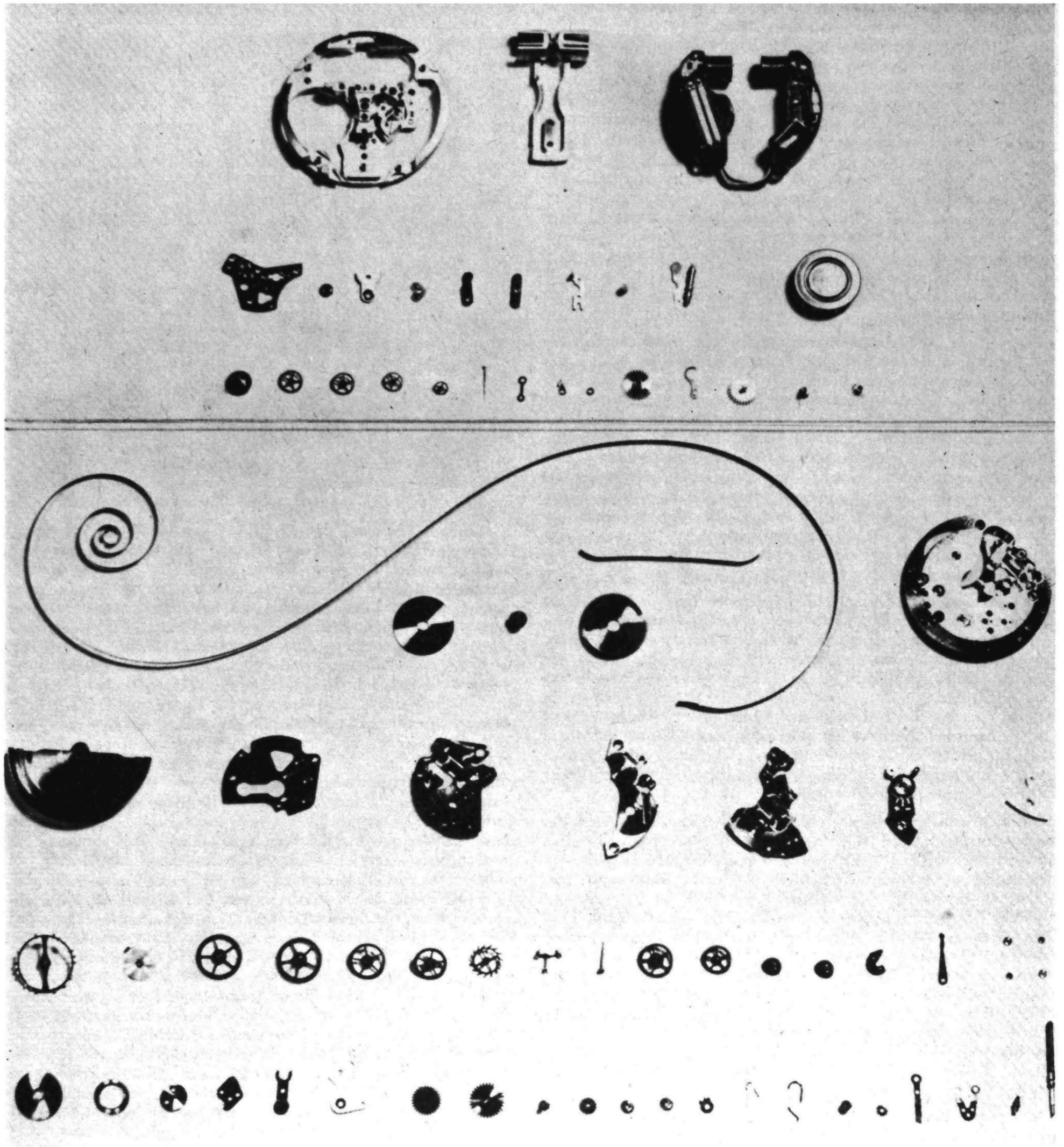
von Atomen gleichzeitig messen muß, ist hier unwesentlich, denn das eigentliche Zeitnormal liegt im einzelnen Atom, das überall und zu allen Zeiten nach gleichen Gesetzen aufgebaut ist und das folglich im Vergleich zu anderen Zeitnormalen eine viel höhere Stabilität aufweist. Der Bau des Atomes scheint überhaupt das einzig Beständige im Universum zu sein, und darum beschreiben die Gesetze der Quantenmechanik wahrscheinlich die einzigen ordnungsbildenden Kräfte im Streben nach Unordnung allen Seins. Die greifbaren Gegenstände sind aus einer unvorstellbar großen Menge von Atomen aufgebaut, die unter der Einwirkung der thermischen Bewegung und unter unmittelbaren mechanischen oder chemischen Einflüssen von außen mit der Zeit ihre Gestalt ändern oder zerfallen, da diese aufgezählten Kräfte im Gegensatz zu den quantenmechanischen Kräften unordnungsbildend wirken.

Auch die geschliffene Quarzplatte, die neben den Atomzeitnormalen die höchste Zeitgenauigkeit aufweist, ändert sich mit der Zeit, indem sich die Bindungskräfte zwischen den unzähligen Atomen leicht verschieben, indem sich ein paar Millionen Atome oder vielmehr Moleküle von der Oberfläche des Kristalls ablösen, indem sich ganze Molekülgruppen im Kristallgitter verschieben oder indem sich einige Millionen Sauerstoffatome mit dem Metall der Quarzbeläge verbinden. Trotzdem können heute mit Quarzoszillatoren Genauigkeiten bis zu 10^{-8} erreicht werden. Der Quarzkristall besteht aus einem äußerst stabilen Stoff, der sich chemisch wenig beeinflussen läßt; er ist sehr hart, nimmt keine Feuchtigkeit auf und weist eine niedrige Temperaturabhängigkeit auf. Andere Materialien, die ihre Eigenschaften ebenfalls mit hoher Stabilität beibehalten, sind Metalle und gewisse Gläser, aber besonders die korrosionsfesten Nickellegierungen wie Nivarox, NiSpan C, Elinvar usw., die zudem eine kleine Temperaturabhängigkeit ihrer Eigenschaften aufweisen.

Doch die Stabilität des Stoffes, aus welchem das zeitbestimmende Glied einer Uhr gebaut ist, genügt nicht allein, um hohe Genauigkeiten der Zeitmessung zu erlangen. Wenn wir die Zeitformeln der vielen zeitabhängigen Vorgänge untersuchen, so finden wir, daß nicht nur die Dimensionen und Eigenschaften der Werkstoffe, aus welchen diese Zeitnormale gebildet sind, in die Formeln

1





2

1
Die elektronische Armbanduhr Accutron von der Zifferblattseite her gesehen. Die Stimmgabel dient als Frequenznormal. Die Ziffern bedeuten: 1 Magnet-
schale, 2 Dauermagnet, 3 Antriebsspule, 4 elektronischer Teil, 5 Transistor,
6 Stimmgabel, 7 Leitungen zu den Spulen, 8 Antriebsspule und Phasenmeßspule.

2
Die Bestandteile der elektronischen Uhr (oben) im Vergleich mit den Teilen einer
herkömmlichen automatischen Armbanduhr (unten).

eingehen, sondern auch Größen wie Kräfte, Energien, Spannungen, Ströme usw., und wie wir festgestellt haben, sind es gerade diese Größen, die sich am ungenauesten bestimmen lassen. Doch gibt es zum Glück eine Gruppe von Zeitnormalen, bei welchen der Energieinhalt und damit die soeben aufgezählten Größen weitgehend in den Zeitformeln verschwinden. Diese Gruppe sind die Schwinger jeglicher Art, bei welchen sich physikalische Vorgänge periodisch wiederholen und bei welchen die Eigenenergie des Schwingers während einer Periodendauer zum größten Teil erhalten bleibt. Je weniger Energie während einer Periode relativ zur Gesamtenergie verlorengeht, desto besser ist der Schwinger. Eine der wichtigsten Größen eines Schwingers oder Oszillators ist sein Qualitätsfaktor Q , der definiert ist als das Verhältnis von Gesamtenergie des Schwingers zu seiner je Periode verlorengegangenen Energie, das Ganze mit 2π multipliziert. In der Elektrotechnik ist die Definition des Qualitätsfaktors als das Verhältnis von Blindleistung des Systems zu seiner Verlustleistung geläufiger.

Schwinger, die zur kontinuierlichen Zeitmessung herangezogen werden, müssen in ihrer Schwingung unterhalten werden, womit das durch Kräfte, Ströme usw. beherrschte Antriebssystem in die Zeitformel oder nun besser Frequenzformel eingeht. Der Einfluß des Antriebssystems auf die Frequenz ist um so kleiner, je größer der Q -Wert des Schwingers ist, da der Zustoß der verlorengegangenen Energie je Periode kleiner ist und dadurch die Beeinflussbarkeit des Schwingers vermindert wird. Zu den Schwingern mit besonders hohen Q -Werten zählen die mechanischen Schwinger, und da ein hoher Q -Wert nur im Zusammenhang mit der Stabilität des Schwingerwerkstoffes für die Zeitmessung von Nutzen sein kann, müssen diese Schwinger aus Quarz, aus gewissen Gläsern oder Metallen gebaut sein.

Rein elektrische Schwinger, aus Kapazitäten und Induktivitäten aufgebaut, weisen große Unstabilitäten ihres Baumaterials auf und besitzen meistens auch einen zu kleinen Q -Wert; darum sind sie für die genaue Zeitmessung ungeeignet. Es ist also nicht allein der geschichtliche Entwicklungsgang der Technik von der Mechanik zur Elektrizität und von dort zur Elektronik, der dafür verantwortlich ist, daß sämtliche Zeitmeßgeräte und Uhren hoher Ganggenauigkeit ein mechanisches Element als zeitbestimmendes Glied enthalten. Sogar die Atomuhr, die anscheinend auf elektrischen Schwingungen basiert, stützt sich auf mechanische Schwingungen oder vielmehr quantenmechanische Schwingungen.

Trotz der Einsicht — oder gerade wegen der Einsicht —, daß das zeitbestimmende Glied einer genauen Uhr ein zu mechanischen Schwingungen befähigtes Element sein muß, ist man besonders in den letzten Jahren dazu übergegangen, elektrische und elektronische Uhren zu entwickeln. Die mechanischen Uhren, sei es Pendeluhr, Tischuhr oder Armbanduhr, weisen durch ihr sympathisches Tick-Tack darauf hin, daß die verwendeten mechanischen Schwinger mit sehr tiefer Frequenz schwingen. Der Pendelschwinger, dessen Abmessungen meistens beliebig gewählt werden können und dessen Position während der Betriebsdauer unverändert festgelegt ist, erfüllt die Hauptbedingungen, die von einem guten Schwinger für die Zeitmessung gefordert werden, wie hoher Q -Wert und Stabilität des Schwingermaterials. Hingegen für eine Armbanduhr mit ihrem kleinen Volumen und ihrer ständig veränderten Lage läßt sich das schwere Pendel nicht mehr anwenden.

Um wenigstens die Lageempfindlichkeit weitgehend zu unterdrücken, ist man zum ausbalancierten Unruhschwinger mit Spiralfederrückstellung übergegangen, der weitgehend die Bedingung der Stabilität des Schwingermaterials erfüllt, der aber infolge der unvermeidbaren, gelagerten Drehachse der Unruh besonders für kleine Uhren, wie Armbanduhren, eine erhebliche Reduktion des Qualitätsfaktors Q erfährt. Die Q -Werte für solche Schwinger liegen um 50, während zum Beispiel Stimmgabelschwinger Q -Werte um einige Tausend auf-

weisen, und bei Schwingquarzen mag diese Ziffer bis zu einigen Millionen reichen.

Der niedere Q -Wert der herkömmlichen Armbanduhr wirkt sich hingegen nicht so abträglich aus, wie man zuerst denken möchte, denn wir müssen das ganze Schwingensystem mit seinem rückgekoppelten Antriebssystem betrachten. Dieses System besteht bei der guten Armbanduhr zur Hauptsache aus einer mechanisch hochpräzisen Ankerhemmung, welche relativ hohe Stabilität ihrer physikalischen Werte aufweist und weiter durch ihre Bauweise weitgehend Frequenzbeeinflussungen unterdrückt. Diese Eigenschaften werden allerdings nur erzielt, wenn ein talentierter Uhrmacher die Adjustierungen vorgenommen hat und wenn peinliche Sauberkeit erstes Arbeitsprinzip war.

Die Auswirkungen von Isochronismus und Positionsfehlern des niederfrequenten Unruhschwingers auf das Zeitresultat müssen als ernsthaftere Störungen betrachtet werden. Wir haben gesehen, daß die Zeit- oder Frequenzgenauigkeit eines Schwingers von der Stabilität des Schwingermaterials und vom Q -Wert in Beziehung zum Antriebssystem abhängt. Nun zeigt sich aber noch eine weitere Abhängigkeit der Schwingerfrequenz, die mehr mit der Geometrie des Schwingers verknüpft zu sein scheint. Warum ist zum Beispiel der Isochronismusfehler von Quarzschwingern, Stimmgabeln und Pendeln viel kleiner als beim Unruhschwinger, und warum erleidet der Quarzschwinger keine nachweisbare Frequenzänderung infolge Lageänderung, die Stimmgabel eine sehr kleine Änderung und die Unruh eine zum Teil ganz erhebliche Störung der Frequenz?

Es läßt sich beweisen, daß für einen gewissen Schwingertyp die Lageempfindlichkeit umgekehrt proportional mit dem Quadrate der Schwingfrequenz abnimmt. Weiter besteht die Tatsache, daß die Isochronismusfehler, die nichts anderes darstellen als eine Frequenzabhängigkeit vom Energieinhalt des Schwingers, kleiner werden, wenn das Verhältnis von Schwingeramplitude zu Schwingerdimensionen kleiner gewählt wird. Letztes Verhältnis darf aber nur mit Erfolg reduziert werden, wenn zugleich die Frequenz des Schwingers erhöht wird, damit die Blindleistung des Schwingensystems mindestens so hoch bleibt, daß keine Senkung des Gesamt- Q -wertes auftritt. Es ist erstaunlich, daß mit dem Unruhschwingersystem, welches meistens mit einer Frequenz von nur 2,5 Hertz schwingt und die erwähnten niederen Q -Werte in Armbanduhren aufweist, trotzdem zum Teil überraschende Ganggenauigkeiten erzielt werden. Der Grund ist darin zu suchen, daß der Unruhschwinger ein ausbalanciertes System darstellt, bei welchem die verschiedenartigsten Ausgleichseinflüsse zur Wirkung kommen. Dieses besagt aber auch, daß die Ganggenauigkeit einer konventionellen Armbanduhr nicht vorausberechenbar und nicht reproduzierbar ist. Es sind vor allem die Sauberkeit beim Zusammensetzen und das Talent beim Einregulieren, die jeder einzelnen Uhr ihren Genauigkeitsgrad aufstempeln. Selbstverständlich kann mit einem besonders gut ausstudierten Werk viel leichter ein höherer Grad der Genauigkeit erzielt werden, wobei allerdings die Werkgröße eine sehr große Rolle spielt. So ist zum Beispiel die elektrische Tischuhr Secticon mit ihrem ausgeklügelten Antriebssystem eine hochpräzise Uhr, deren Unruhschwinger Q -Werte bis zu 1000 aufweist. Wollte man aber das Secticon verkleinern, bis es in einer Armbanduhr Platz fände, dann würde der Q -Wert auf die beschriebene Zahl 50 absinken. Weiter müßte auch die Lageempfindlichkeit berücksichtigt werden, und man hätte die größte Mühe, den Stromverbrauch auf den niederen Wert herabzudrücken, der für eine Armbanduhr erforderlich ist.

Wenn man alle die aufgezählten Nachteile einer herkömmlichen Armbanduhr vermeiden will, so sieht man sich gezwungen, eine höhere Schwingerfrequenz mit wesentlich höherem Q -Wert des Schwingers zu wählen. Der Q -Wert kann aber nur von einem lagerlosen und damit von unmittelbarer mechanischer Reibung befreiten Schwinger verbessert werden. Das heißt, der neue Schwinger verliert



3
Montage des Accutron-Werkes.

den Vorteil der Ausbalanciertheit, und dieses wesentliche, die Ganggenauigkeit begünstigende Merkmal des Unruhschwingers kann nur mit einem Schwinger von sehr viel höherer Frequenz wirkungsvoll wettgemacht werden. Zwei Schwinger, die sich besonders gut für die Zeitmessung eignen und hohe Q-Werte sowie hohe Frequenzen aufweisen, sind der Quarzschwinger und der Stimmgabelschwinger. Beide Schwingertypen lassen sich sehr geschickt elektronisch anregen,

brauchen sehr wenig Energie und lassen sich auf sehr kleinem Raum unterbringen.

Die beiden Schwinger unterscheiden sich zur Hauptsache durch das Frequenzgebiet, in dem sie angewendet werden können. Während die Stimmgabel Frequenzen zwischen 100 und 1000 Schwingungen je Sekunde bevorzugt, beansprucht der Quarz das Frequenzband von 1000 Schwingungen je Sekunde aufwärts. Da eine Uhr die Zeit anzeigen muß, sind nebst dem Schwinger mit seinem Antriebssystem auch noch eine Frequenzzählrichtung und irgendein Anzeigemechanismus erforderlich. Die Schwierigkeit der praktischen Frequenzzählung und Anzeige wächst für eine Armbanduhr sehr rasch an, wenn man zu höheren Schwingerfrequenzen übergeht, so daß für Quarzfrequenzen unüberwindliche Hindernisse im Wege stehen. Obwohl sich heute neue Techniken in der Herstellung elektronischer Frequenzteilerschaltungen abzuzeichnen beginnen, die das Volumenproblem lösen würden, so scheitert doch das Projekt am Energieproblem des Anzeigesystems und zu einem wesentlichen Teil an der Kompliziertheit solcher Lösungen.

Als vor rund 10 Jahren das Rennen um die elektronische Armbanduhr begann, waren wir uns darüber im klaren, daß nur eine elektrische oder elektronische Armbanduhr einen Erfolg auf lange Sicht bieten würde, welche die beschriebenen Forderungen nach hohem Q-Wert bei hoher Frequenz erfüllt: wir schlugen den verheißungsvollen Weg über den Stimmgabelschwinger ein. Es war ein dornenvoller, enger Pfad mit fast keinen Ausweichmöglichkeiten, und öfters stand man vor einer scheinbar unüberwindlichen Felswand. Schließlich ließen sich die Schwierigkeiten doch meistern, und das einfache, saubere Prinzip der elektronisch angetriebenen Uhr mit dem Stimmgabel-Ratschensystem war verwirklicht: bei der „Accutron“-Uhr paßten die verschiedenen Teile und physikalischen Vorgänge wie bei einem „Puzzle“ zueinander.

Bis jetzt wissen wir, daß Stabilität des Schwingermaterials, hoher Q-Wert und hohe Frequenz zu hoher Ganggenauigkeit einer Uhr führen. Es sind aber noch viele, scheinbar unwichtige Bedingungen zu erfüllen, bis man eine praktische, zuverlässige Armbanduhr höchster Ganggenauigkeit erreicht, denn der praktische Erfolg hängt ja meistens von den Kleinigkeiten ab. **Wird fortgesetzt**

Die Stimmgabel als Frequenznormal und ihre Verwendung in der elektronischen Uhr (II)

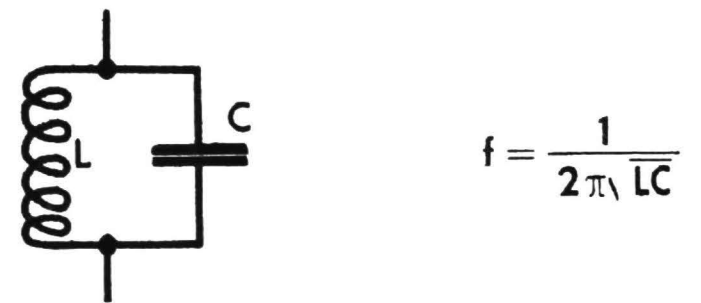
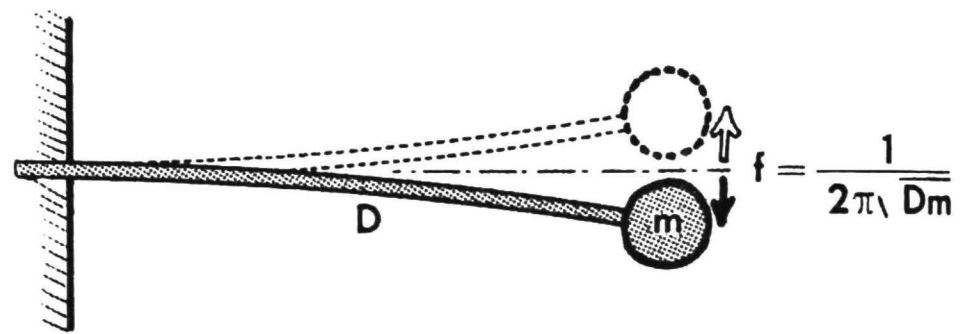
1. Die Stimmgabel

Die Stimmgabel wurde von John Shore, dem Trompetisten Friedrich Händels, vor etwa zweihundert Jahren erfunden und blieb seither ein Abstimminstrument des Musikers. Obwohl man schon damals festgestellt hatte, daß zwei gleichgroße, aber in entgegengesetzter Richtung schwingende Lamellen auf einem gemeinsamen Fuße befestigt zu äußerst stabilen Schwingungen befähigt sind, so hat doch dieser Schwinger, genannt Stimmgabel, außerhalb des Musikgebietes nie eine hohe Bedeutung erlangt. Zwar hat man Frequenznormale mit Stimmgabeln gebaut und fabriziert auch heute noch solche, ebenso sind „Zeitwaagen“ mit Stimmgabeln für die Uhrenkontrolle auf dem Markt erhältlich. Aber verglichen mit den Frequenz- oder Zeitnormalen Unruh und Quarzplatte ist doch erwiesen, daß die Stimmgabel nie umfassendere Anwendungen gefunden hat. Ist es der Name „Stimmgabel“, der uns eher an eine Eßgabel denken läßt als an ein wissenschaftliches Instrument? Oder bietet dieses zweizinkige Stück Metall wirklich keine Vorteile im Vergleich mit den aufgezählten Frequenznormalen? Wir werden sehen, daß sich die Stimmgabel als Zeitnormal in einer Armbanduhr geradezu hervorragend eignet, weil sie alle die erwähnten Hauptforderungen für hohe Ganggenauigkeit erfüllt und zusätzlich den vielen scheinbar unwichtigen Bedingungen gerecht wird, die die Ganggenauigkeit beeinflussen und die praktische Verwirklichung fördern.

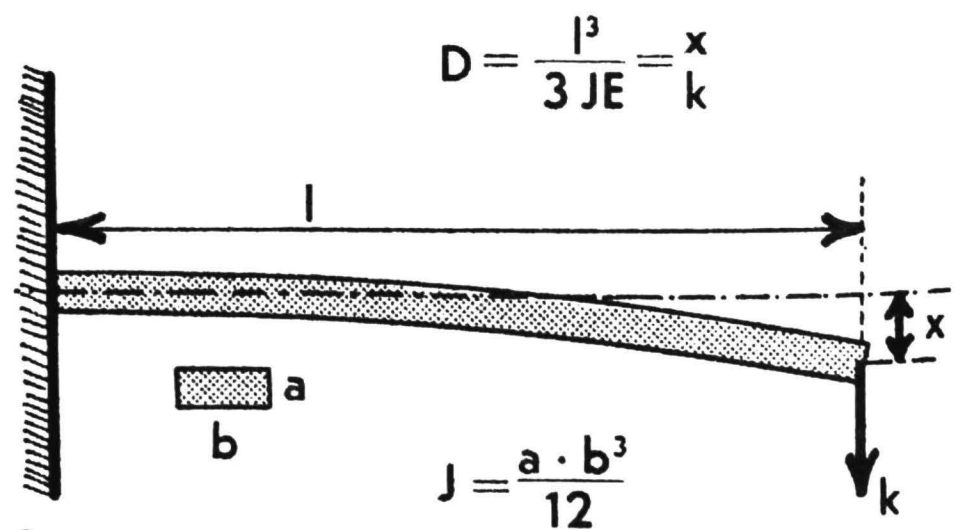
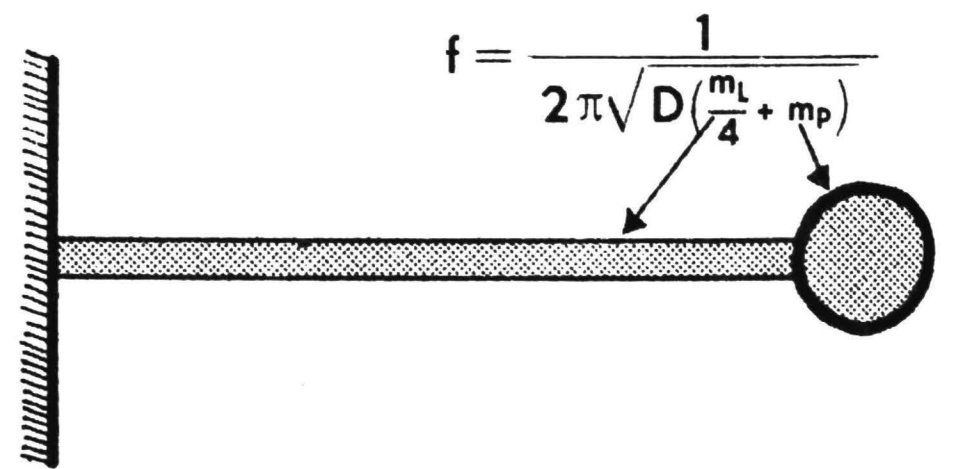
Betrachten wir eine ideal elastische Zunge, die an einem Ende eine Masse m trägt und am anderen Ende steif mit einer sehr großen Masse verbunden ist (Bild 4). Wenn man diese Zunge verbiegt und dann frei schwingen läßt, so beschleunigt die elastische Kraft die Masse m , bis sie durch den Nullpunkt schwingt. Im Nullpunkt hat die Masse ihre höchste Geschwindigkeit erreicht, und die elastische Kraft verschwindet. Die ganze elastische Energie hat sich in kinetische Energie umgewandelt, und diese verbiegt nun die Zunge in der anderen Richtung, bis die Deformation — absolut gesprochen — den Ursprungswert erreicht hat. Die Masse m hat eine halbe Schwingung durchlaufen, und die Gesamtenergie des Systems ist unverändert geblieben. Die zweite Halbschwingung erklärt sich auf dieselbe Weise, und da die Energie nicht vernichtet wird, schwingt die Zunge weiter. Die Frequenz dieses mechanischen Schwingers verhält sich umgekehrt proportional zu 2π multipliziert mit der Wurzel aus dem Produkt von Masse m und Elastizität D . Für elektrische Schwingkreise findet man eine ganz ähnliche Formel: Die Masse m wird durch die Kapazität C ersetzt und die Elastizität D durch die Induktivität L . Es sei hier schon darauf aufmerksam gemacht, daß die Übereinstimmung der Formeln kein Zufall ist. Es bestehen Analogien zwi-

schen mechanischen und elektrischen Vorgängen, denn beide gehorchen gleichen Grundgesetzen. Wenn man ein komplexes dynamisch-mechanisches Problem behandeln will, so ist es öfters von Vorteil, dieses unübersichtliche System in eine elektrische, analoge Schaltung umzuwandeln, und die Lösung wird mit Hilfe der Matrizenrechnung sehr einfach.

Wenn die schwingende Lamelle eine nicht zu vernachlässigende Eigenmasse besitzt, dann muß die Differentialgleichung des transversal schwingenden Stabes zur Lösung der Frequenzformel herangezogen werden, und man findet eine neue Formel für die Resonanzfrequenz, die aussagt, daß ein Viertel der Zungenmasse aktiv an der Schwingung teilnimmt (Bild 5). Wenn man dieses Viertel zur Masse m



4 Die elastische Zunge mit Schwingmasse.



5 Die schwingende Lamelle mit Eigenmasse.

zuschlägt, so erhält man nach der beschriebenen Formel das richtige Frequenzresultat.

Die Berechnung der Elastizität der Lamelle ergibt sich aus der Festigkeitslehre: Zungenlänge in der dritten Potenz dividiert durch das dreifache Produkt aus Flächenträgheitsmoment des Lamellenquerschnittes und Elastizitätsmodul des Zungenmaterials. Das Ganze stellt den Quotienten aus Verbiegung x und der zu dieser Verbiegung nötigen Kraft dar.

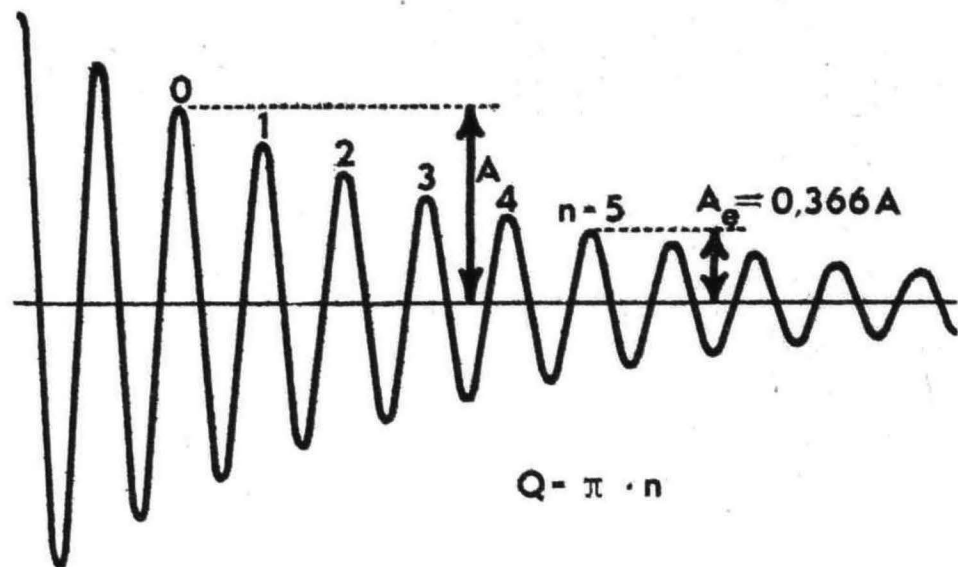
In der vorangehenden Erklärung haben wir die im praktischen Falle unvermeidlichen Verluste vernachlässigt. Schwingungsenergie geht infolge innerer Reibung, Luftreibung, Abstrahlung usw. verloren. Die je Sekunde verlorene Energie stellt die Verlustleistung des Schwingers dar. Die Blindleistung des Schwingers ist hingegen eine Leistungsform ohne Arbeitsabgabe nach außen und wird durch den Pendelvorgang von potentieller und kinetischer Energie verursacht. Ihr Wert ist das Produkt aus der Kreisfrequenz ω und der Gesamtenergie des Schwingers.

Das Verhältnis von Blind- zu Verlustleistung eines Schwingers, das meistens in relativ weiten Leistungsgrenzen konstant bleibt, wird als der schon erwähnte äußerst wichtige Qualitätsfaktor Q des Schwingers definiert. Eine einfache Messung dieses Faktors ergibt sich aus der Abklingkurve eines Schwingers, indem man die Zahl der Schwingungen zwischen zwei Schwingamplituden mit dem Am-

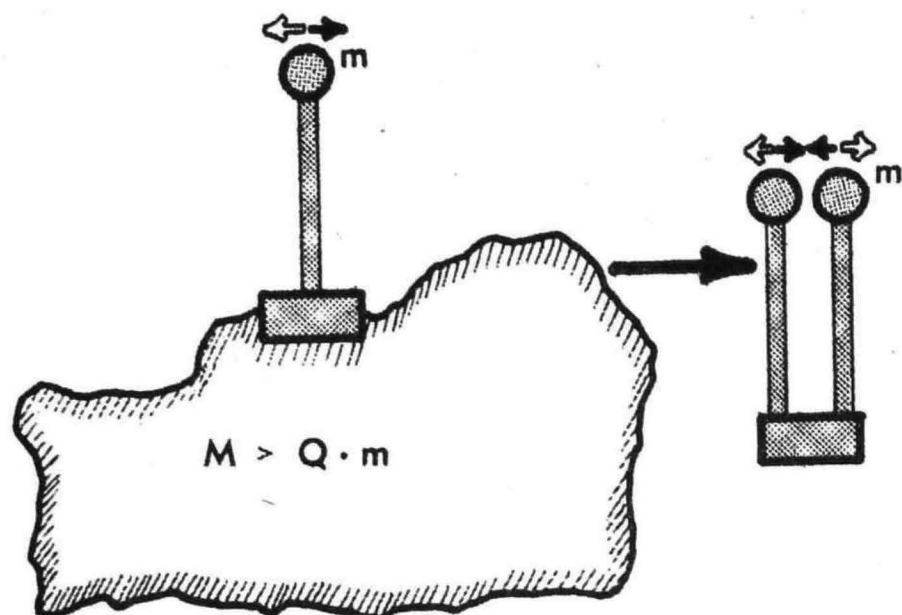
plitudenverhältnis e zählt und mit π multipliziert (Bild 6). Der Wert e ist die Basis der natürlichen Logarithmen.

Bei der Behandlung der schwingenden Lamelle haben wir vorausgesetzt, daß die Masse, an der die Lamelle steif befestigt ist, sehr groß ist. Genau genommen müßte auch das Trägheitsmoment dieser Masse sehr groß sein. Wenn man nicht zuviel Energie und Frequenzbeeinflussung durch die Einspannstelle in Kauf nehmen will, läßt sich nachweisen, daß diese Masse mindestens Q mal größer als die Schwingmasse sein sollte und das Trägheitsmoment ebenfalls zumindest Q mal größer als das Produkt von Schwingmasse und Lamellenlänge im Quadrat (Bild 7). Für die Accutronuhr, deren Schwingmasse ungefähr ein halbes Gramm beträgt und deren Stimmgabel-Lamellen einen Q -Wert von rund 3000 aufweisen, müßte die Befestigungsmasse, daher die ganze Uhr, etwa 1,5 Kilogramm schwer sein. An eine solche Armbanduhr ist aber nicht zu denken, und nur sehr dünne Zungen mit äußerst kleinen Massen könnten zu einer wirkungsvollen Verminderung des Gesamtgewichtes der Uhr führen. Wie wir später sehen werden, wäre indessen die Blindleistung des Systems zu klein, und weiter hätte der Energie-wandler einen viel zu kleinen Wirkungsgrad.

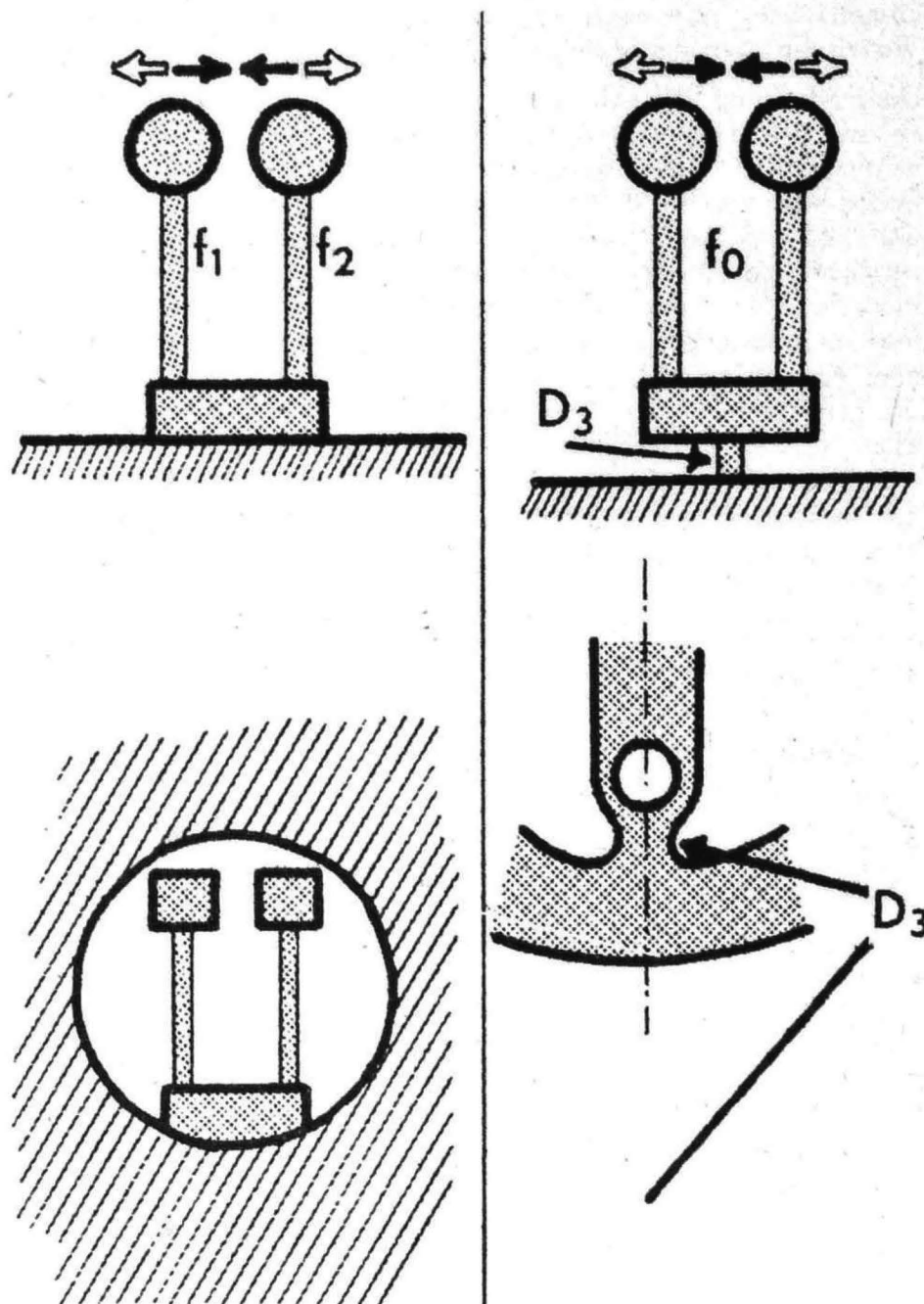
Für zwei mit gleicher Frequenz, aber in entgegengesetzter Richtung schwingende Lamellen kompensieren sich die Kräfte und Drehmomente im gemeinsamen Befestigungsfuß so weitgehend, daß die Masse des Befestigungsfußes sogar Null sein dürfte, ohne daß an Güte des



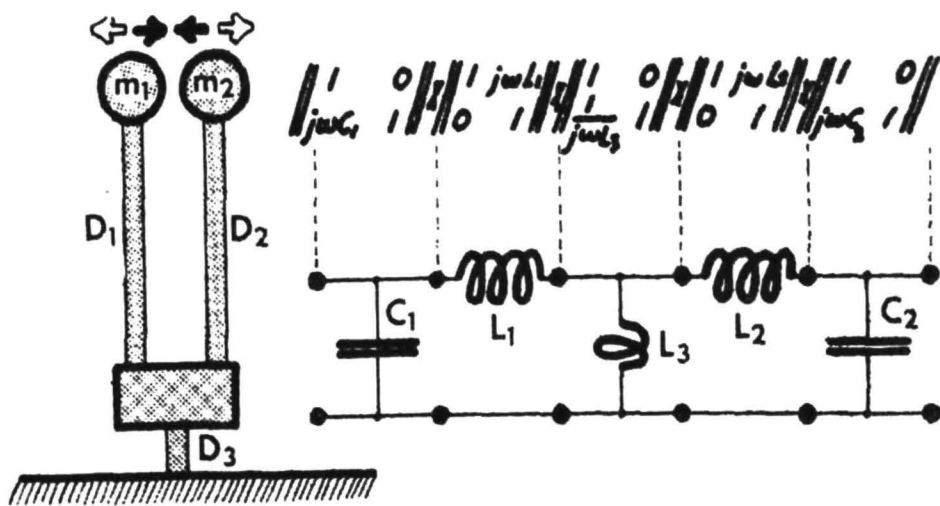
6 Abklingkurve eines Schwingers.



7 Einfluß der Einspannstelle.



8 Fußträger der Accutron-Stimmgabel.



9 Äquivalente elektrische Schaltung der Stimmgabel.

Schwingers, nun Stimmgabel genannt, eingebüßt würde. Hingegen läßt sich auch dieser Fall nicht ideal verwirklichen, weil die beiden Schwingmassen, die beiden Lamellenelastizitäten und die beiden Q-Werte der Lamellen in Wirklichkeit nur angenähert gleich groß sind. Ebenfalls mögen die Schwingrichtungen beider Massen nicht genau entgegengesetzt gerichtet sein.

Unter der Annahme von Zinkenfrequenzen f_1 und f_2 und der Befestigung des gemeinsamen Fußes an eine unendlich große Masse würden sich die Zinken dieser Gabel unabhängig voneinander bewegen, und jede Zinke würde auf ihrer Resonanzfrequenz schwingen, so daß die charakteristischen Eigenschaften der Stimmgabel verloren gingen. Baut man eine Stimmgabel fest in eine Uhr ein und legt diese Uhr auf einen Glas- oder Marmortisch, so zeigt sich das beschriebene Verhalten; die Accutron-Stimmgabel ist denn auch mit einem elastischen Fußträger versehen (Bild 8). Dieses elastische Glied wird in der weiteren Behandlung mit D_3 bezeichnet.

Da die Stimmgabel in Wirklichkeit als leicht unsymmetrisches System betrachtet werden muß, stellt sich mit ihrem elastischen Fuße ein recht kompliziertes Schwingungsgebilde dar, zu dessen Lösung man mit Vorteil die äquivalente elektrische Schaltung anwendet.

Diese Schaltung läßt sich in Elementarschaltungen unterteilen, deren einfache a-Matrizen ausmultipliziert werden (Bild 9). Unter der Annahme, daß die Abweichungen von der Symmetrie nicht groß sind, finden wir, daß nur die Lamellenfrequenzen f_1 und f_2 von Bedeutung sind und daß Elastizitäten und Massen in diesen Frequenzformeln verschwinden. Die Stimmgabelfrequenz f_0 ergibt sich als das arithmetische Mittel der Zinkenfrequenzen f_1 und f_2 , wenn die Befestigungsmasse gleich Null gesetzt wird (Bild 10). Man findet aber noch eine weitere Frequenz f_3 , wenn die Befestigungsmasse unendlich groß gesetzt wird. In diesem Falle schwingen beide Zinken in Phase mit einer durch D_3 erhöhten Elastizität und dadurch mit erniedrigter Frequenz. Diese Frequenz bestimmt die Empfindlichkeit der Stimmgabel in bezug auf Erschütterung und Schlag, und darum ist es wichtig, sie so hoch wie möglich zu halten, d. h. so nahe wie möglich der Hauptfrequenz f_0 zustreben zu lassen.

Die Hauptfrequenz einer nicht ganz symmetrischen, aber elastisch auf eine unendliche Masse aufgebauten Gabel fällt etwas höher aus

als diese Hauptfrequenz ohne unendliche Masse. Da aber für eine Stimmgabel in einer Armbanduhr, die am Arm getragen oder auf einen harten, schweren Gegenstand abgelegt werden kann, die Montierungsart praktisch zwischen den Extremen wechselt, so muß die dadurch hervorgerufene Frequenzänderung der Stimmgabel für die Ganggenauigkeit der Uhr als störender Einfluß betrachtet werden. Die höchstens auftretende Frequenzänderung berechnet sich zu einem Viertel der quadrierten Differenz von f_1 und f_2 , dividiert durch die Abweichung von der Hauptfrequenz f_0 und die Erschütterungsfrequenz f_3 .

Für die Stimmgabel der Accutronuhr mit einer Grundfrequenz von 360 Schwingungen je Sekunde, einer Erschütterungsfrequenz von 340 und einer Asymmetrie der Zinkenfrequenzen von $1/30$ Schwingung je Sekunde errechnet sich eine Frequenzstörung, die weniger als eine Sekunde Zeitabweichung im Tag ausmacht.

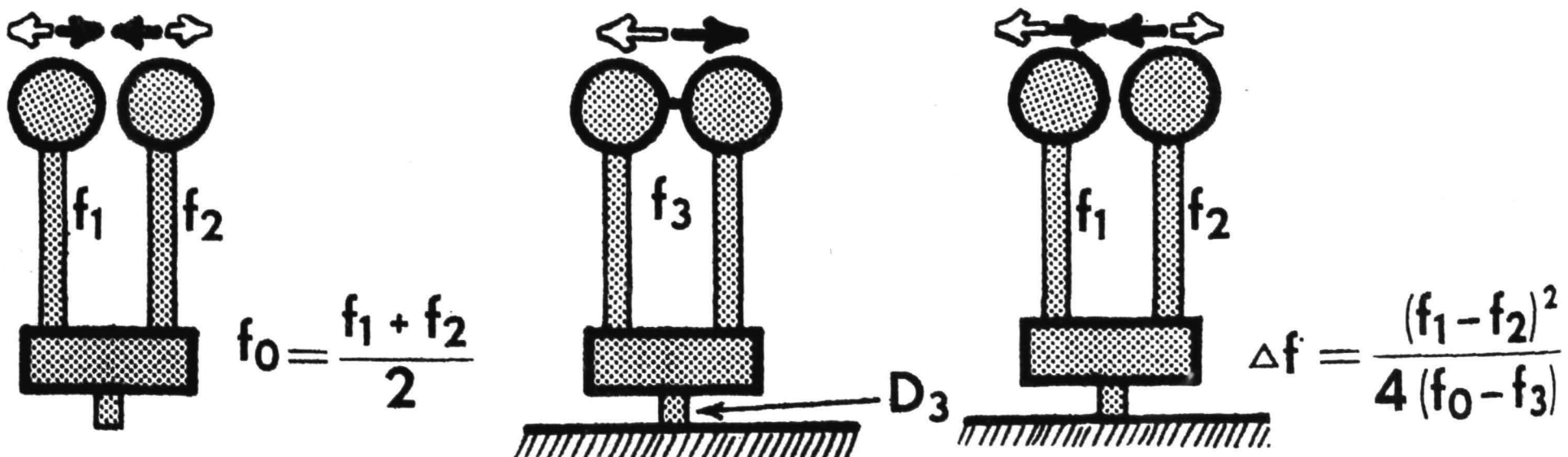
Dank der Abstimmung der Accutron-Stimmgabel mit Hilfe eines speziellen elektronischen Gerätes, das gleichzeitig die Hauptfrequenz der Gabel auf eine Sekunde im Tag genau und die Asymmetrie auf 10 Sekunden im Tag genau mißt, konnte die Montierungselastizität D_3 der Gabel so niedrig gehalten werden, daß die Erschütterungsfrequenz f_3 fast so hoch liegt wie die Stimmgabelfrequenz.

In einem gewissen Sinne könnte man die Auswuchtoperationen der Unruh konventioneller Uhren mit der Symmetrisierung der Stimmgabel vergleichen; physikalisch bestehen jedoch große Unterschiede. Hingegen wäre es in bezug auf die Ganggenauigkeit ein großer Vorteil, wenn das Unruhschwingersystem gleichzeitig abgestimmt und ausgewuchtet werden könnte. Während diese Arbeitsgänge für die Unruh getrennt ausgeführt werden, sind bei der Stimmgabel Abstimmung und Symmetrisierung gleichzeitig auszuführen.

Es sind aber nicht nur Drehmomente im Fuße der Stimmgabel, die zu Störungen führen können, sondern es sind auch Kräfte wirksam, die sich nicht kompensieren lassen; sie sind parallel zur Stimmgabelachse gerichtet und können gewisse Beeinflussungen hervorrufen.

Die Masse m auf einer schwingenden Lamelle bewegt sich auf einer Kreisbahn, deren Radius für kleine Schwingamplituden $2/3$ der Lamellenlänge beträgt (Bild 11). Die durch die Kurvenbewegung verursachte Beschleunigungskomponente in Richtung der Lamellenachse bewirkt axiale Kräfte im Befestigungspunkt, deren Frequenz das Doppelte der Lamellenfrequenz beträgt. Wenn man nun die schwingende Masse m senkrecht zur Lamellenachse um den Betrag B verschoben auf die Lamelle aufsetzt, so bewegt sich der Schwerpunkt dieser Masse im wesentlichen geneigt um den Wert des Winkels der Tangente des beschriebenen Bewegungskreises am Orte des Massenschwerpunktes, und somit entsteht selbst bei ganz kleinen Amplituden eine axiale Kraftkomponente, die die Frequenz der Stimmgabel beeinflussen kann und sie zu dämpfen vermag (Bild 12).

Eine elastische Halterung der Accutron-Stimmgabel zur Aufnahme axialer Kräfte war nicht erforderlich, weil der Störeinfluß vernachlässigbar klein ist. Der relative Frequenzunterschied infolge dieser axialen Kräfte zwischen einer fest aufgebauten und einer freien Gabel berechnet sich zu einem Viertel des quadrierten Verhältnisses von Exzentrizität B zu Zinkenlänge l und ergibt für die Accutronuhr unter Einsetzung der Fabrikationstoleranzen einen Wert, der eine Zeitabweichung von weniger als einer Sekunde im Tag ergibt.



10 Stimmgabelfrequenz f_0 bei vernachlässigbarer Befestigungsmasse.

$f_3 < f_0$ wegen D_3

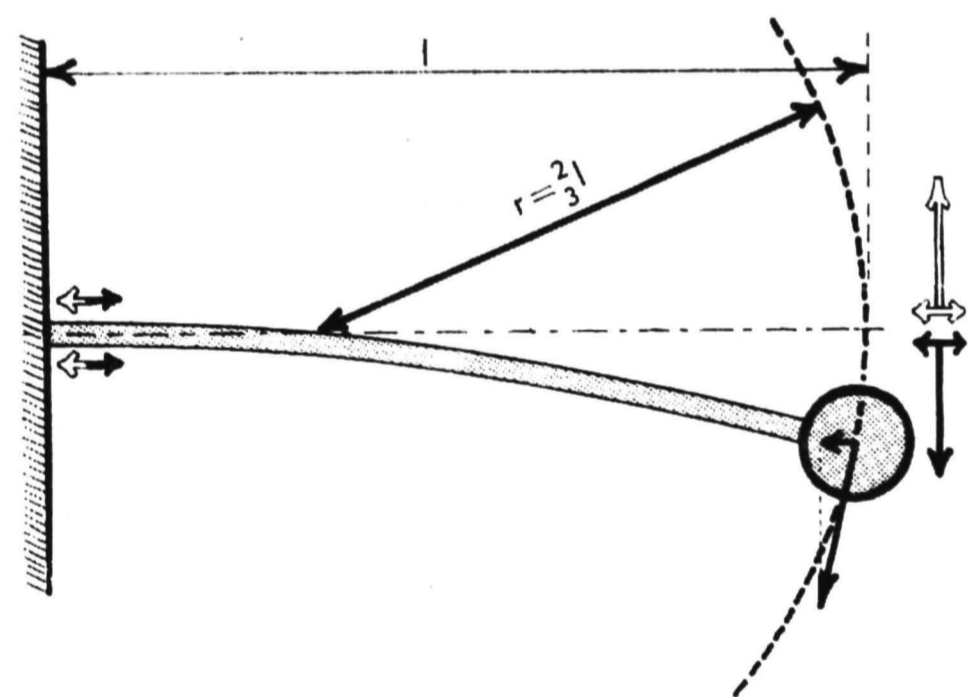
Eine andere Störung, deren Ursprung ebenfalls in der Kreisbewegung der Schwingmasse zu suchen ist, wirkt sich viel schädlicher aus und begrenzt weitgehend die Genauigkeit der Accutronuhr. Es ist die Beeinflussung der Frequenz durch die Lage der Stimmgabel im Schwerfeld. Für eine senkrecht schwingende Lamelle ändert sich die potentielle Energie der Schwingermasse im Schwerfeld, da sich diese Masse auf einer Kreisbahn bewegt und deshalb ihr Niveau ändern muß (Bild 13).

Die Schwerkraftkomponente in Schwingrichtung verhält sich proportional zur Schwingamplitude und stellt darum eine zusätzliche Elastizität zur Lamellenelastizität dar, die bei nach unten gerichteten Lamellen die Frequenz erhöht und bei nach oben gerichteten Lamellen erniedrigt. Die Frequenzänderung in Sekunden je Tag ergibt sich zu 1,2 bis 1,6 dividiert durch das Produkt aus Lamellenlänge in cm und quadrierter Frequenz in kHz. Für die Accutronuhr erhält man $\pm 4,5$ Sekunden im Tag für die senkrechten Gabelstellungen, und für alle anderen Positionen beträgt die Zeitabweichung Null (Bild 14).

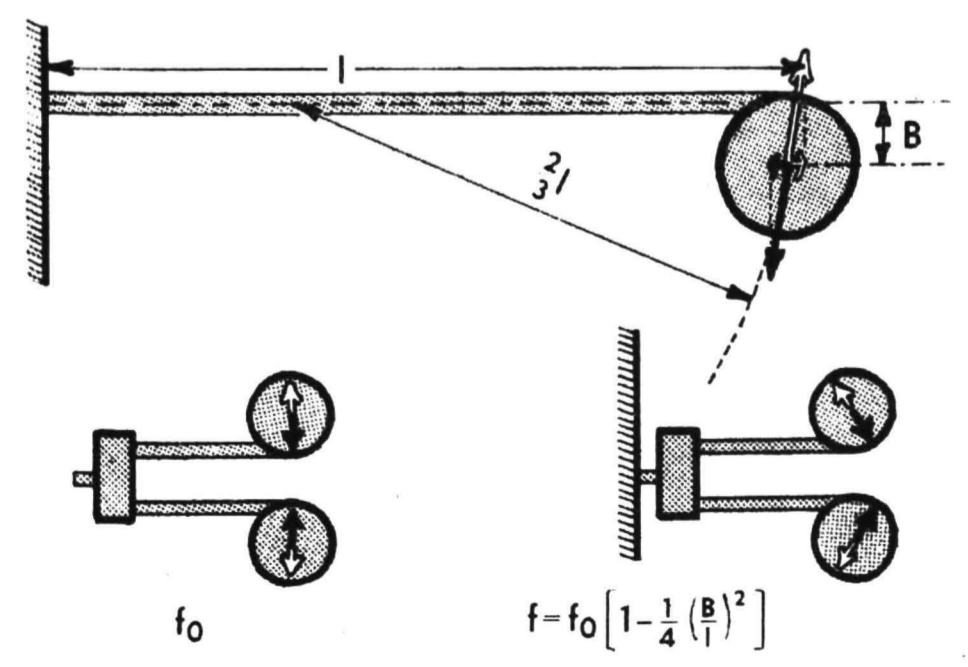
Diese Lageabhängigkeitsformel zeigt, daß man Zeitabweichungen infolge verschiedener Lage verkleinern kann, wenn man eine höhere Stimmgabelfrequenz oder eine längere Gabel wählt. Die Länge der Gabeln kann aber nicht größer als der Werkdurchmesser gewählt werden, und statt die Frequenz zu erhöhen, möchte man lieber eine abgeänderte Stimmgabel finden, bei der sich die Schwingmassen auf einer Geraden bewegen, oder aber eine Gabel mit zwei Symmetrieachsen in ihrer Schwingebene (Bild 15).

Diese Überlegungen führen zu den H-, O- und W-förmigen Gabeln, die theoretisch keine Frequenzabweichung bei Lageänderungen aufweisen. Die H- und O-förmigen Gabeln besitzen zwei Symmetrieachsen in der Schwingebene, und für die W-förmige Gabel kann das Schenkelverhältnis so gewählt werden, daß sich die Schwingmassen

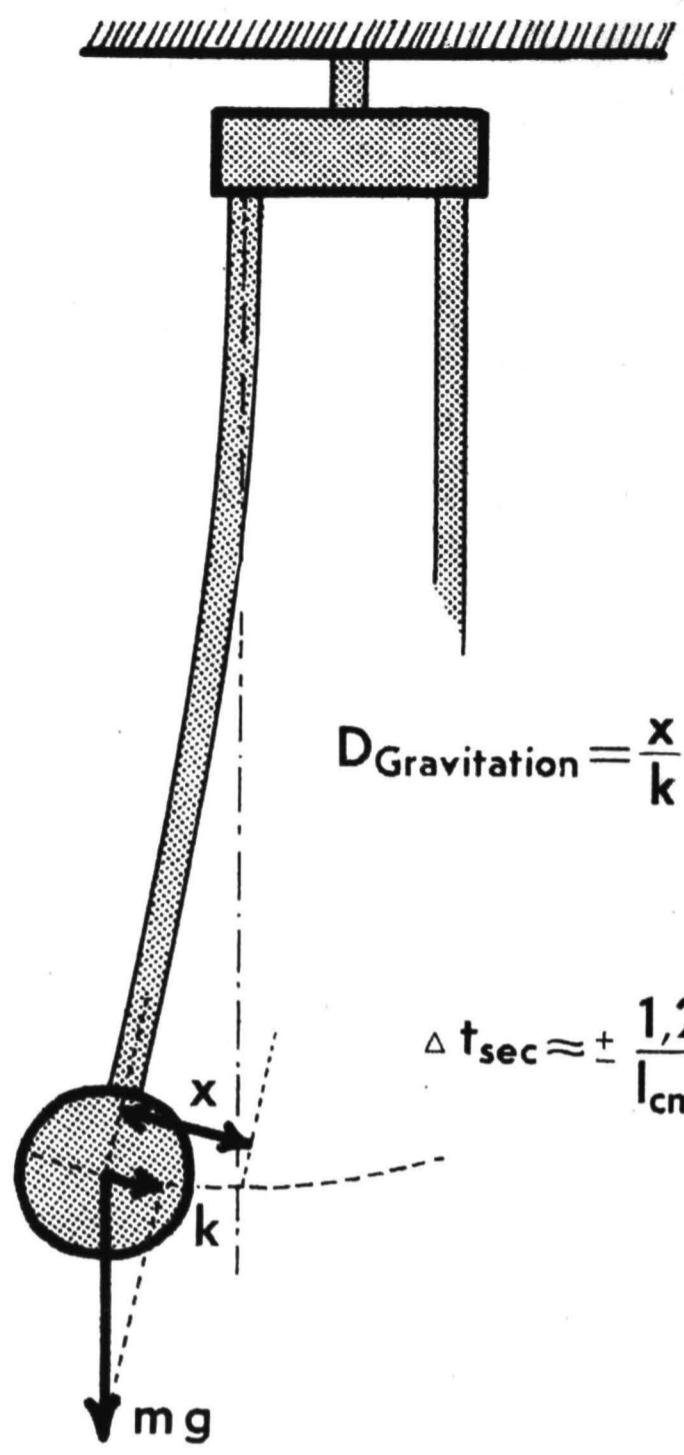
© www.uhrenliteratur.de



11 Kreisbahnbewegung der Schwingmasse.



12 Schwingende Masse zur Lamellenachse versetzt.



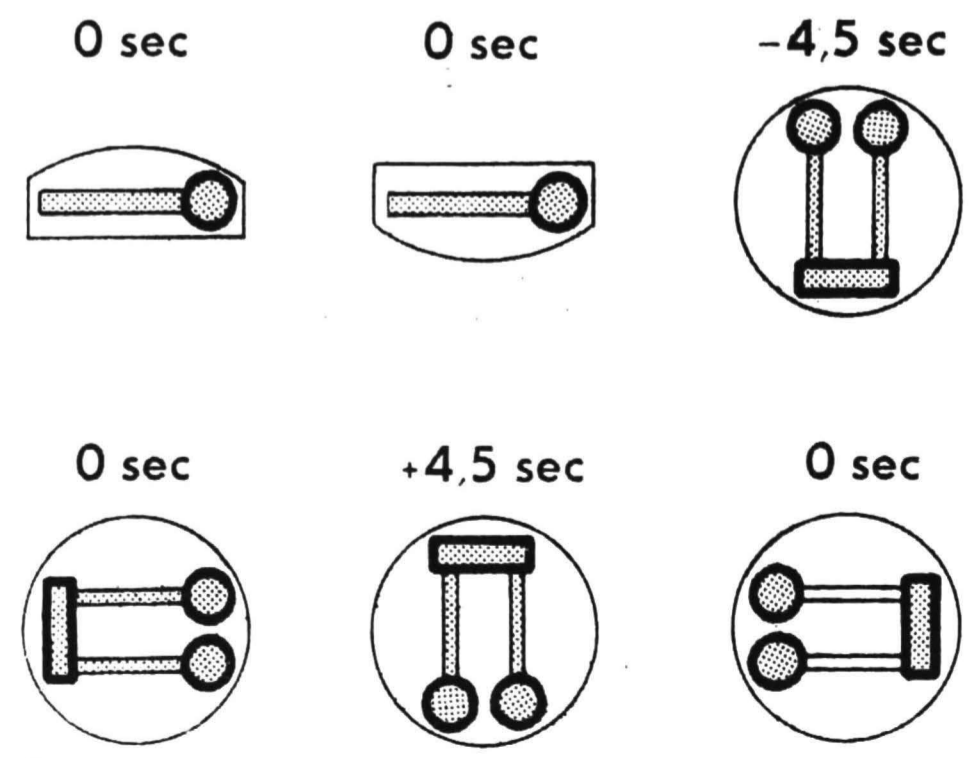
$$D_{\text{Gravitation}} = \frac{x}{k}$$

$$\Delta t_{\text{sec}} \approx \pm \frac{1,2 \dots 1,6}{l_{\text{cm}} \cdot f_{\text{kHz}}^2}$$

13 Einfluß des Schwerfeldes.

geradlinig bewegen. Alle drei Gabelformen wären aber unpraktisch in der Herstellung, da die Zinken infolge wesentlich höherer Steifigkeit viel zu dünn ausfallen würden.

Eine andere, ebenfalls unpraktische Lösung des Problems besteht in der elektrischen Parallelschaltung der Pick-up-Spulen zweier äquivalenter Stimmgabeloszillatoren, deren Gabeln um 180 Grad in der Schwingebene verdreht zueinander aufgebaut sind (Bild 16). Synchronisierungseffekte zwingen beide Gabeln, auf ihrem arithmetischen Mittelwert der Frequenzen zu schwingen.

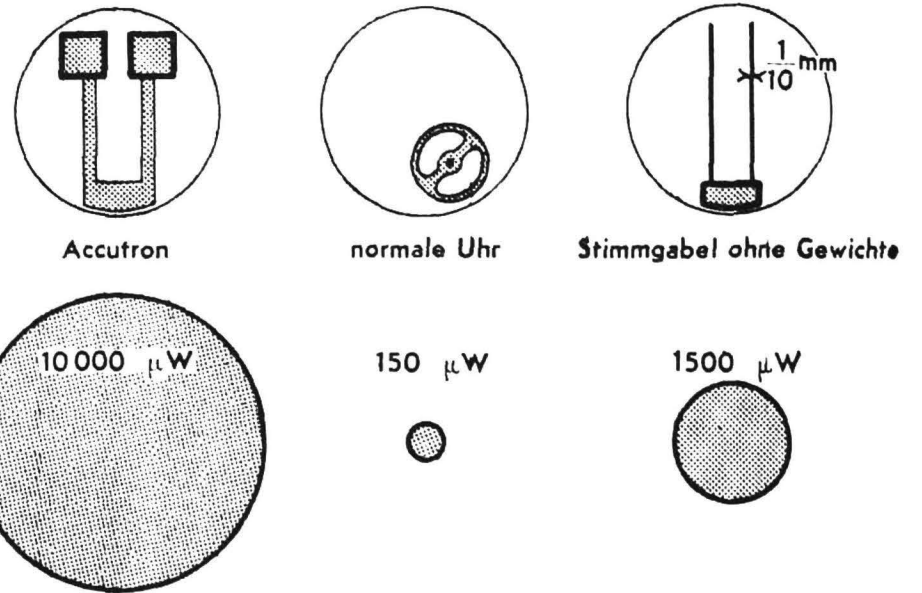


14 Lageabhängigkeit des Schwerfeldes.

Der Einfluß der Temperatur auf den täglichen Gang einer Stimmgabeluhr hängt im wesentlichen von der Legierung und der thermischen Behandlung des Stimmgabelmaterials ab.

Wie man aus der Temperaturkurve (Bild 17) sehen kann, ist es für die Accutron-Stimmgabel gelungen, ausgezeichnete Temperaturkoeffizienten zu erhalten, die im Temperaturgebiet von 4 bis 36 Grad Celsius weniger als 1/10 Sekunde je Tag und Grad betragen. Die Accutrongabel ist aus einem Stück gestanzt und die Magnettöpfe sind an die Enden der Zinken hartgelötet. Diese Zinkenenden werden nicht elastisch beansprucht, und folglich kann die Löttemperatur keinen qualitätsmindernden Einfluß auf das temperaturkompensierende Material der Gabel ausüben. Die starre Konstruktion der Gabel läßt diese wie ein homogenes Stück Metall erscheinen, das besonders in bezug auf Erschütterung und Alterung sehr stabil ist. Ein Spezialverfahren erlaubt uns, die Alterungseffekte eines ganzen Jahres auf weniger als eine Sekunde je Tag herunterzudrücken.

Um noch einmal auf die Blindleistung des Schwingensystems zurückzukommen, sei hier erwähnt, daß die Accutron-Stimmgabel rund



18 Blindleistung von Schwingensystemen.

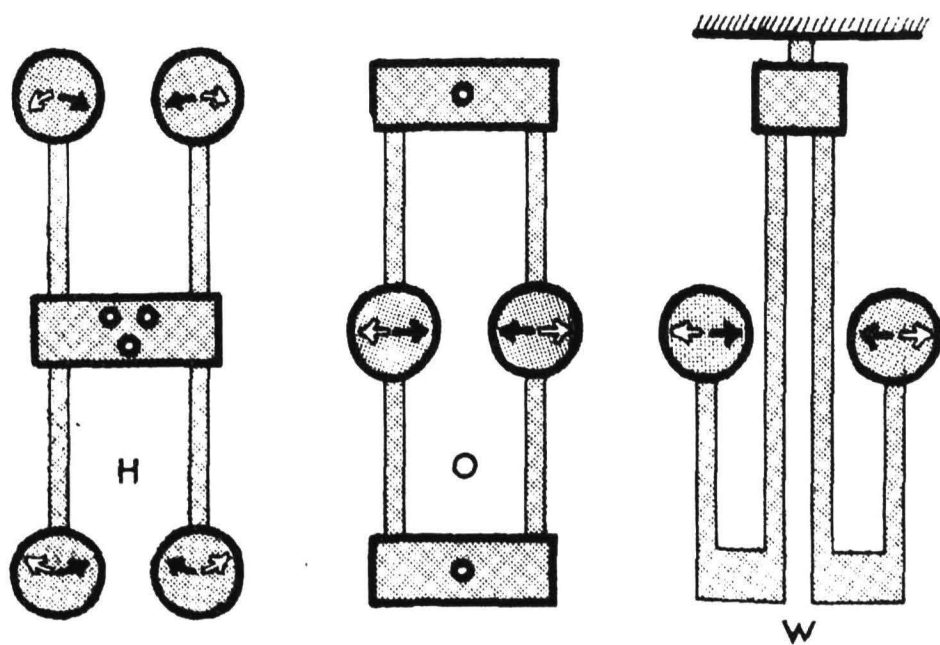
60mal mehr Blindleistung aufweist als die Unruh einer Herrenarmbanduhr (Bild 18). Für alle Zeitmeßinstrumente, bei welchen der Schwinger mechanisch mit dem Frequenzzähl- und Anzeigemechanismus verbunden ist, wirkt sich eine hohe Blindleistung des Schwingers besonders günstig aus, da seine Beeinflussbarkeit durch die relativ instabile Belastung des Anzeigemechanismus kleiner wird. Diese Betrachtungen treffen für die herkömmliche Armbanduhr wie für die Accutronuhr zu.

Die Wirkleistung der Accutrongabel berechnet sich aus der Blindleistung von 10 000 Mikrowatt und dem Q-Wert von 3000 zu nur 3,3 Mikrowatt. Addiert man noch rund 0,7 Mikrowatt für das Ratschensystem, so erhält man für die gesamte mechanische Wirkleistung der Accutronuhr die äußerst kleine Leistung von 4 Mikrowatt.

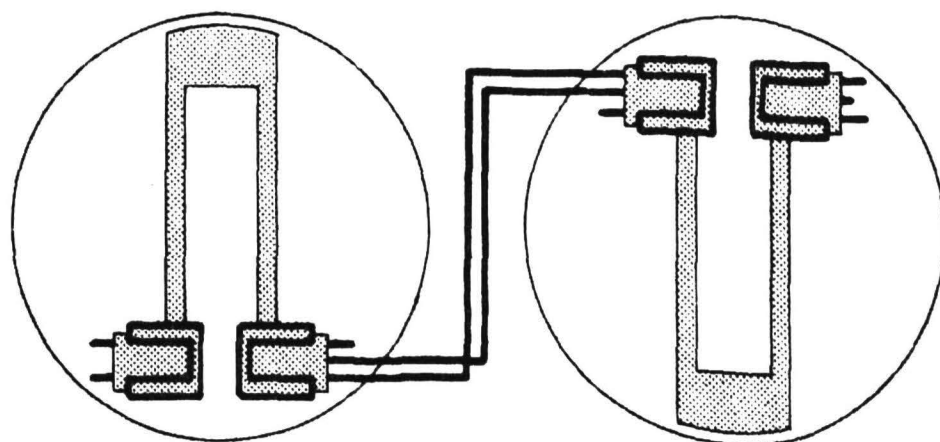
Als letzte Eigenschaft der Accutron-Stimmgabel sei ihr hervorragender isochroner Gang erwähnt (Bild 19). Die Abhängigkeit der Frequenz oder der Ganggenauigkeit einer Uhr von ihrer Schwingeramplitude war immer ein großes Sorgenkind mit Unruhswingern. Mit Stimmgabelschwingern verschwinden die Isochronfehler praktisch völlig und haben für die stabilisierte Schwingeramplitude der Accutronuhr keine Bedeutung mehr.

Daraus kommen wir zu einer ersten Schlußfolgerung, daß die Stimmgabel hervorragende Eigenschaften für die Anwendung als Zeitnormal in Armbanduhren besitzt. Zudem zeichnet sie sich durch sehr hohe Blindleistung aus und erleichtert somit die Anforderungen an ein Antriebssystem und an ein mechanisches Frequenzzähl- und Anzeigemechanismus mit mechanischer Zeitanzeige. Um eine Armbanduhr hoher Ganggenauigkeit zu verwirklichen, genügt es, ein Antriebssystem hohen Wirkungsgrades und kleiner Frequenzbeeinflussbarkeit zu finden, und ebenso eine Frequenzzähleinrichtung kleiner Leistung mit mechanischer Energieübertragung auf den Anzeigemechanismus. Die vorausberechnete Ganggenauigkeit großer Stabilität hängt dann nicht mehr vom Talent und vom Fingerspitzengefühl des erfahrenen Uhrmachers ab.

Wird fortgesetzt

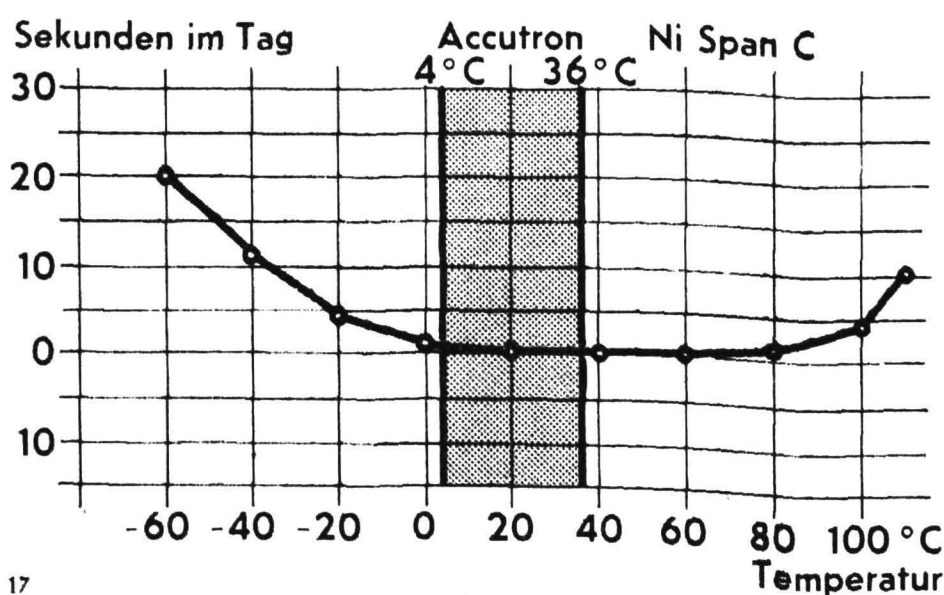


15 Ausgleich des Schwerefeldinflusses.

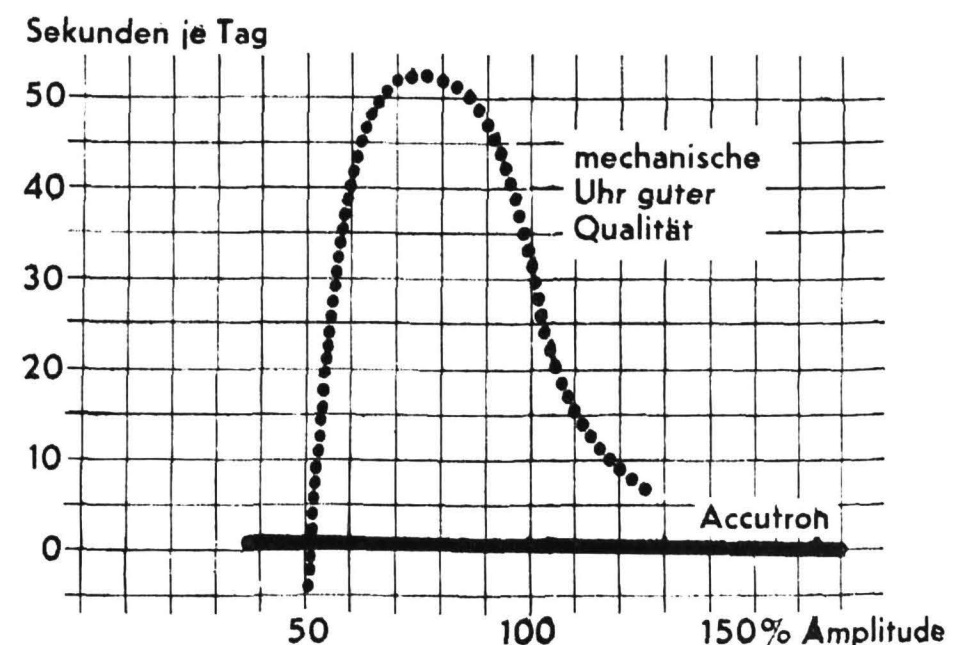


$$(+4,5) + (-4,5) = 0 \text{ sec}$$

16 Parallelgeschaltete Stimmgabeloszillatoren.



17 Temperaturkurve der Accutron-Stimmgabel.



19 Ganggenauigkeit in Abhängigkeit von der Schwingeramplitude.

Die Stimmgabel als Frequenznormal und ihre Verwendung in der elektronischen Uhr (III)

3. Der elektronische Antrieb der Stimmgabel

Damit eine Stimmgabel nutzbringend in einer Uhr angewendet werden kann, muß man über Mittel zur Aufrechterhaltung der Schwingung dieser Gabel verfügen. Die je Periode verlorene Energie des Schwingers muß während jeder einzelnen Schwingung durch einen Energiezustoß aus einer äußeren Energiequelle ersetzt werden. Wegen der relativ hohen Frequenz kommt praktisch nur eine elektrische Energiequelle in Frage; es ist ein Element in die Uhr einzuführen, das elektrische in mechanische Energie umwandelt. Solche Systeme oder Apparateile werden elektromechanische Energiewandler genannt.

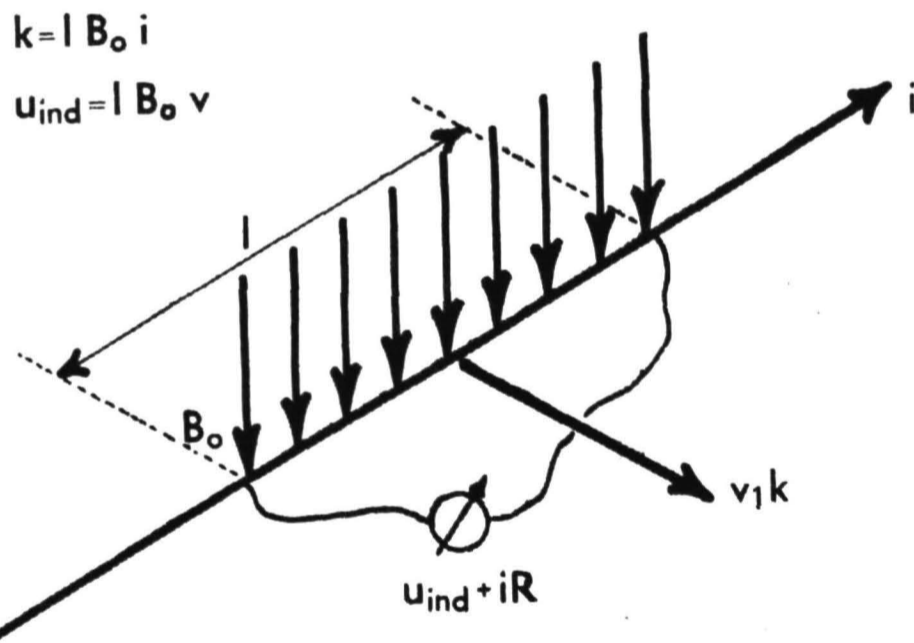
- | | | |
|----|-------------------------------------|------|
| 1 | elektromagnetisch ohne Polarisation | H v |
| 2 | elektrostatisch ohne Polarisation | H v |
| 3 | elektromagnetisch ohne Polarisation | H⊥v |
| 4 | elektrostatisch ohne Polarisation | H⊥v |
| 5 | elektromagnetisch mit Polarisation | H v |
| 6 | elektrostatisch mit Polarisation | H v |
| 7 | elektromagnetisch mit Polarisation | H⊥v |
| 8 | elektrostatisch mit Polarisation | H⊥v |
| 9 | elektrodynamisch | |
| 10 | piezoelektrisch | |
| 11 | elektrostriktif | |
| 12 | magnetostriktif | |

²⁰ Elektromechanische Energiewandler

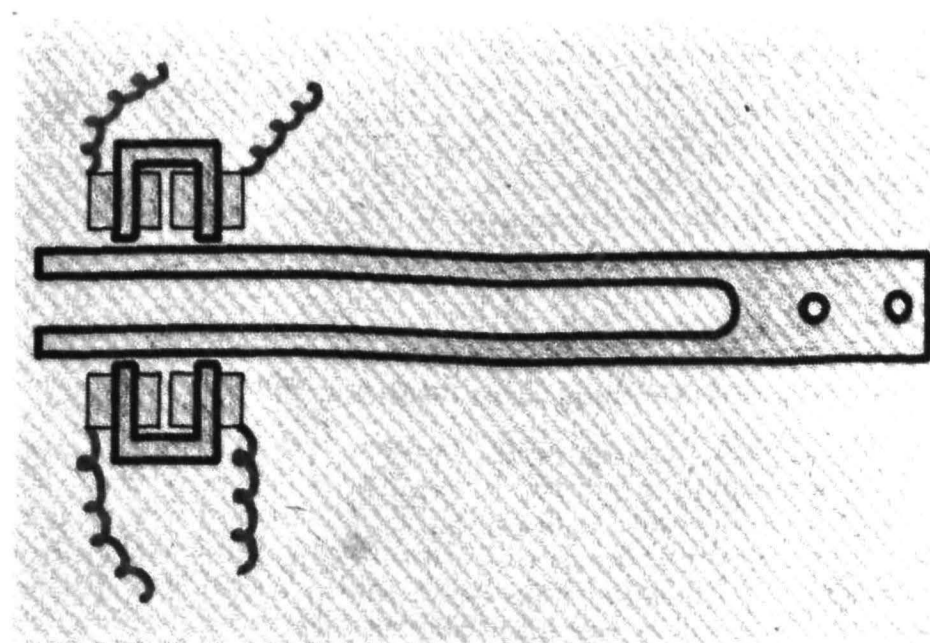
Es gibt ein Dutzend verschiedener Prinzipien zur Vornahme dieser Energieumwandlung (Bild 20). Für Stimmgabeluhren eignet sich das elektrodynamische Prinzip besonders gut. Seine elektromechanischen Beziehungen ergeben sich aus der Kraftwirkung eines von einem elektrischen Strom durchflossenen Leiters in einem magnetischen Feld und der induzierten Spannung eines in einem magnetischen Feld bewegten Leiters (Bild 21).

Dabei treten auch bei hohen Wirkungsgraden der Energietransformation keine ortsabhängigen Kräfte auf, die, wie Zusatzelastizitäten wirkend, die Schwingerfrequenz beeinflussen könnten. Dies sei an einem Beispiel näher erläutert.

Auf dem Markte erhältliche Stimmgabeloszillatoren für elektronische Apparaturen sind vielfach mit einem elektromagnetischen Energiewandler ausgerüstet, der dem Kopfhörersystem ähnlich ist und der trotz sehr einfacher Bauweise (Bild 22) hohe Frequenzstabilität aufweist. Mißt man den Wirkungsgrad eines solchen Energiewandlers, so findet man Werte, die vielfach unter einem Prozent liegen. Solche niederen Wirkungsgrade wirken sich nicht nachteilig aus, da diese Oszillatoren meistens in Apparaturen für Netzanschluß verwendet werden. In einer Armbanduhr mit Batterien äußerst kleinen Energieinhalts ist man hingegen gezwungen, den Stimmgabeloszillator mit dem höchstmöglichen Wirkungsgrad zu bauen. Nun läßt sich



²¹ Das elektrodynamische Prinzip



²² Stimmgabeloszillator

jedoch mathematisch beweisen, daß eine nützliche Erhöhung des Wirkungsgrades bei den obigen Wandlertypen für Uhren zu ungenügender Frequenzstabilität der Stimmgabel führt. Magnetische Kräfte, die von der Stimmgabelamplitude abhängen, sind der Grund für diese Frequenzbeeinflussung.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, daß eine frequenzstabile Stimmgabel nicht genügt, um eine ganggenaue Uhr zu konstruieren. Man muß einen elektromechanischen Wandler finden, der auch für hohe Wirkungsgrade keine frequenzbeeinflussende Wirkung auf die Gabel ausübt und berücksichtigen, daß alle Wandlertypen — das elektrodynamische Prinzip ausgenommen —, bei hohem Wirkungsgrad mehr oder weniger frequenzbeeinflussend wirken oder aber im Stimmgabelfrequenzgebiet gar nicht für hohe Wirkungsgrade konstruiert werden können.

Unter den vielen möglichen Konstruktionsvarianten für elektrodynamische Wandler hat man für die Accutronuhr das bekannte Lautsprechersystem modifiziert, so daß statt der Spule die Permanentmagnete beweglich angeordnet sind (Bild 23).

Damit ergibt sich die Befestigung der Magnetsysteme auf den Stimmgabelzinken und der Einbau der Spulen in die Werkplatte. Die Schwingungsweite dieser Tauchmagnete ist im Verhältnis zu den Magnetdimensionen sehr klein, so daß die in den Spulen induzierten Spannungen entsprechend dem sinusförmigen Verlauf der Magnetgeschwindigkeiten ebenfalls dieser Kurvenform folgen.

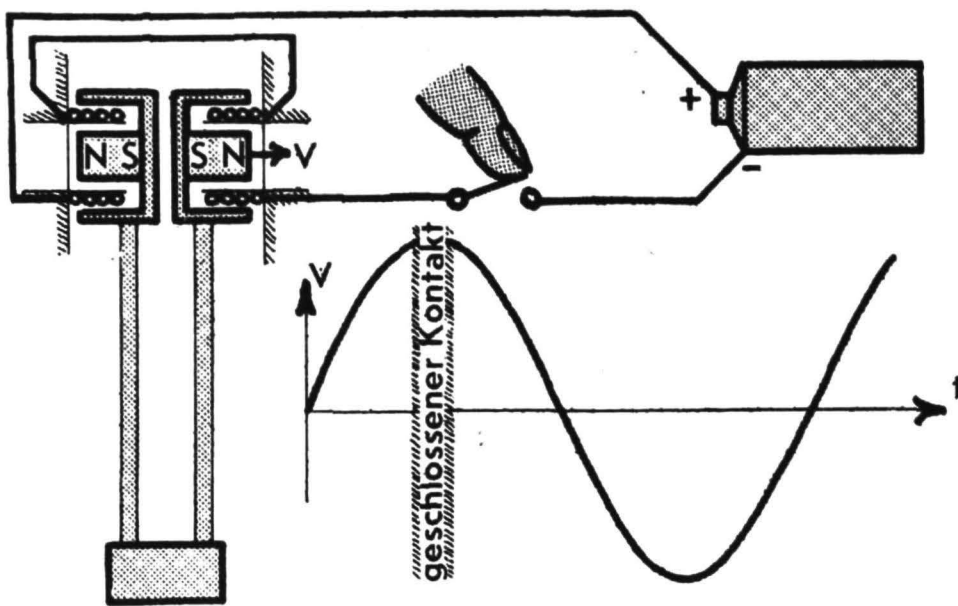
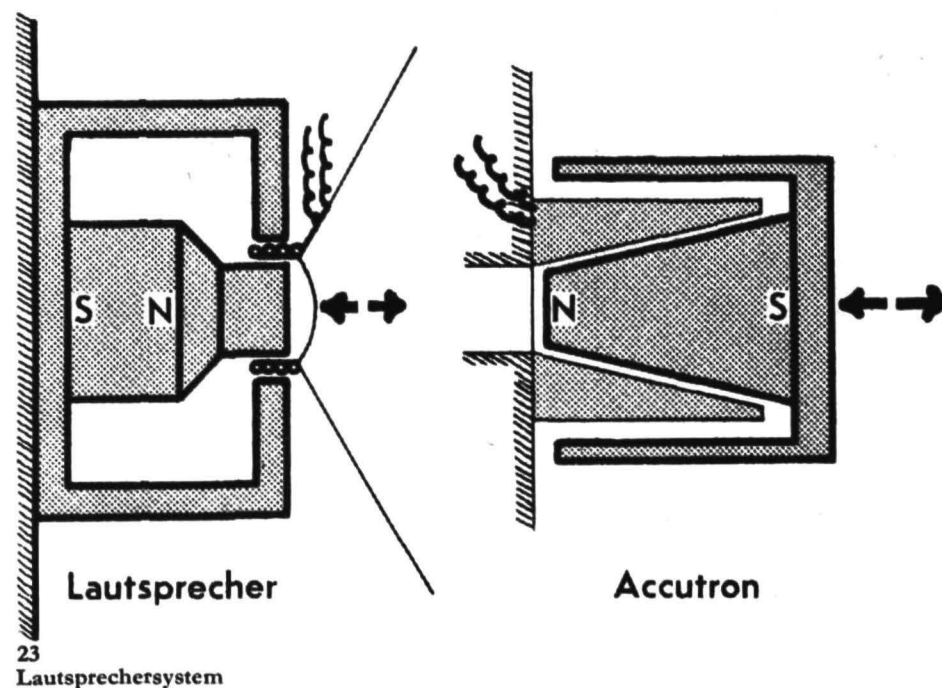
Eine weitere Eigenschaft der mit einer Stimmgabel gesteuerten Armbanduhr wurde bis jetzt noch nicht erwähnt, obwohl ihre Bedeutung mindestens ebenso wichtig ist wie die des hohen Q-Wertes und der hohen Frequenz. Es ist die Möglichkeit, die Stimmgabelamplitude durch einen äußerst einfachen, aber idealen Reguliervorgang zu stabilisieren. Diese Stabilisierung ist ideal, weil die Regulierung durch Steuerung der Energiezufuhr aus der Energiequelle vorgenommen wird und nicht durch Vernichtung überschüssiger Energie. Der elektrodynamische Wandler, der auf Stimmgabeln angewendet einen besonders hohen Wirkungsgrad erzielen läßt, ermöglicht infolge seines hohen Wirkungsgrades die angeführte Art der Amplitudenstabilisierung.

Zur Erläuterung des Reguliervorganges sei angenommen, daß der Wandler einen hundertprozentigen Wirkungsgrad habe, daß die Stimmgabel verlustlos sei und daß man einen Kontakt im Stromkreis, gebildet aus Wandler und Spannungsquelle (Bild 24), während eines Bruchteils der Periodendauer der Stimmgabelschwingung so schließen könne, daß Kontaktschluß immer dann erfolge, wenn die Geschwindigkeit der Stimmgabelmagnete zum Beispiel ein positives Maximum durchläuft. Während diesen Kontaktschlußzeiten würde ein Strom von der Spannungsquelle zum Wandler fließen und eine Kraft auf die Magnete ausüben. Diese Kraft würde die Stimmgabel im Rhythmus ihrer Schwingfrequenz in Bewegung setzen, und die Schwingamplitude der Gabel würde kontinuierlich anwachsen. Gleichzeitig würde aber das bewegte Magnetfeld der Tauchmagnete in den Wicklungen Wechselspannungen induzieren; dadurch würde die Differenz zwischen Batteriespannung und induzierter Spannung zur Zeit des Kontaktschlusses verkleinert. Infolge des Anwachsens der Schwingung würde diese Spannungsdifferenz nach einiger Zeit den Wert Null erreichen, und somit würde trotz geschlossenem Kontakt kein Strom mehr von der Spannungsquelle in den Wandler fließen. Der Stimmgabel würde keine Energie mehr zugeführt und ihre Amplitude könnte nicht mehr anwachsen (Bild 25).

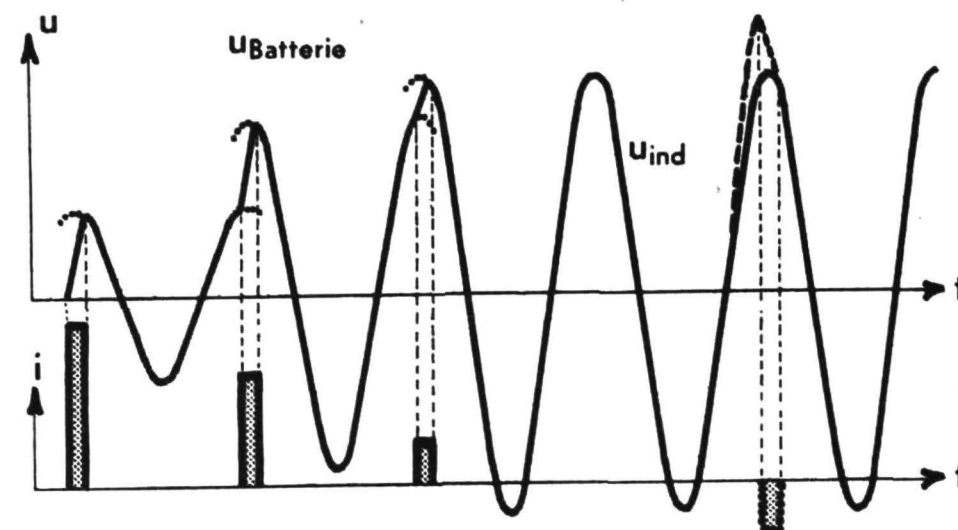
Wenn aus irgendeinem Grunde, z. B. durch einen Schlag, die Schwingungsamplitude größer würde als die Grenzamplitude, so würde die Differenzspannung zwischen Batteriespannung und induzierter Spannung ihr Vorzeichen wechseln und ein dadurch hervorgerufener Gegenstromimpuls würde die Stimmgabel sofort abbremsen, bis ihre Amplitude wieder auf den nun stabilisierten Wert abge-

sunken wäre. Für die auf diese Weise stabilisierte Amplitude sind der Scheitelwert der induzierten Spannung und die Batteriespannung gleich groß.

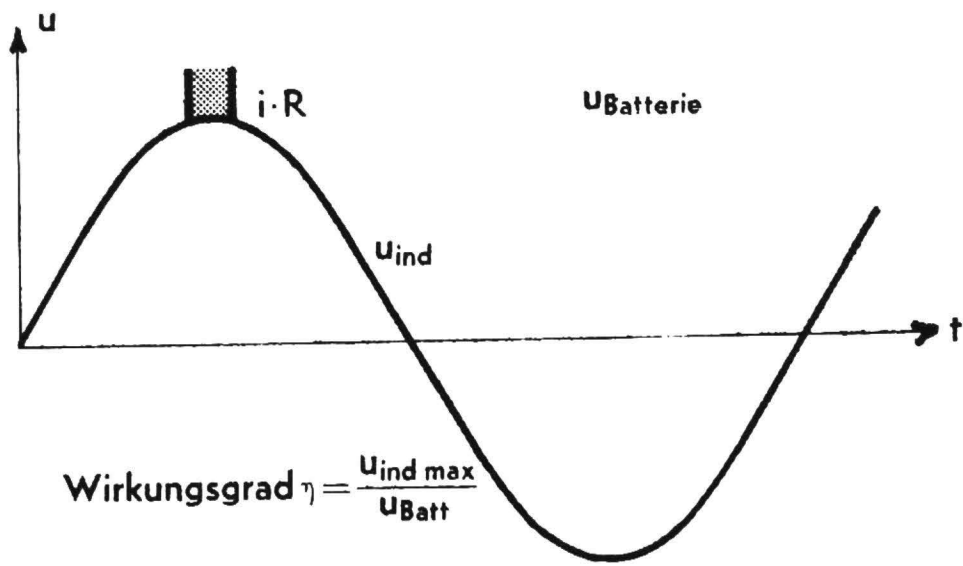
Diesen Idealfall gibt es allerdings nicht, denn der Schwinger ist nicht verlustfrei, und die Wandlerwindungen besitzen einen Ohmschen Widerstand, der infolge der beschriebenen Stromimpulse einen Spannungsabfall verursacht, so daß für den Wandler die Batteriespannung um diesen Spannungsabfall $R \cdot i$ kleiner erscheint (Bild 26).



24 Stabilisation der Stimmgabelamplitude



25 Amplitudenverlauf



26 Schwinger mit Verlust

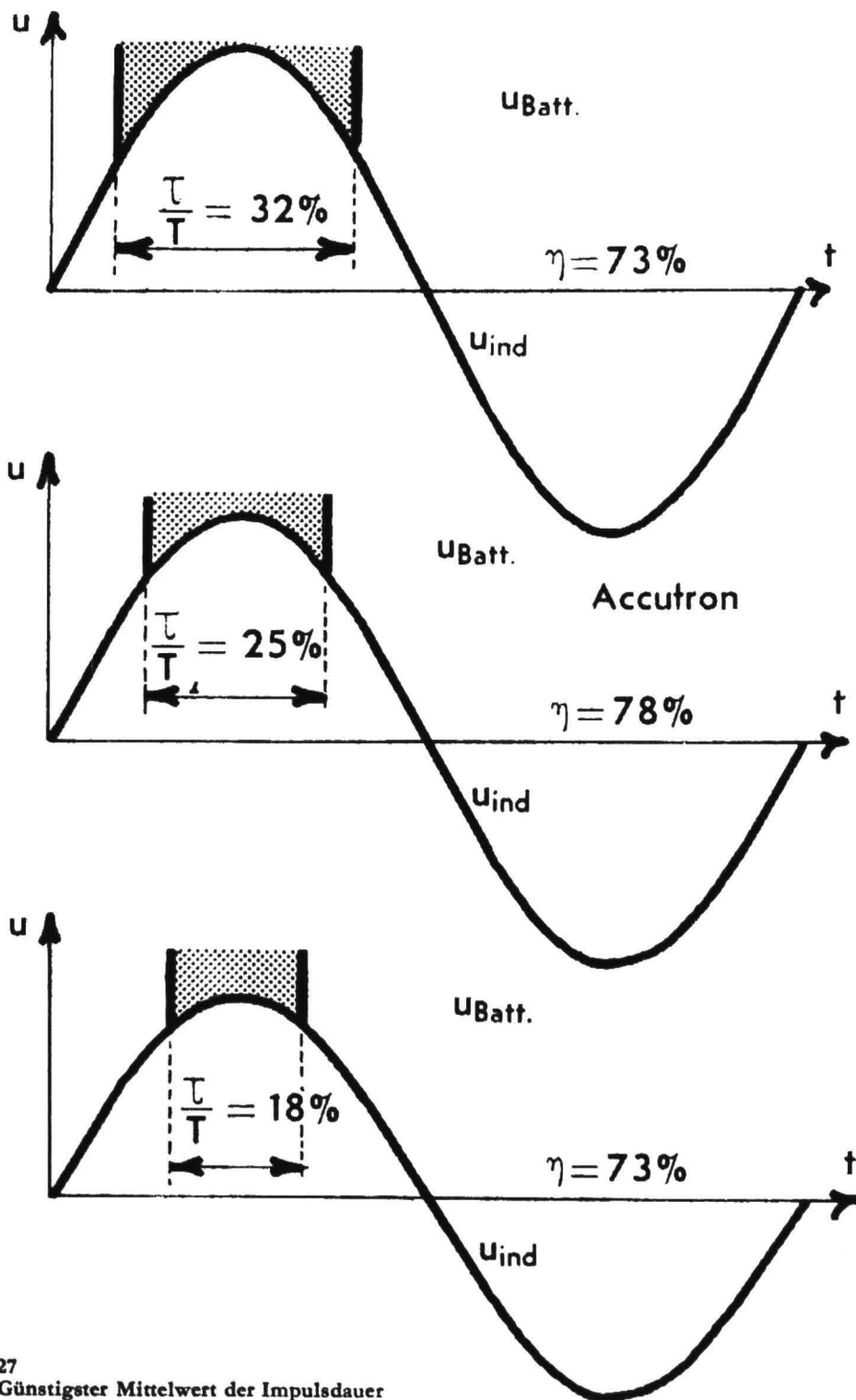
Damit wird die stabilisierte Schwingamplitude belastungsabhängig und berechnet sich für eine gegebene Belastung und für kurzzeitige Impulse — kurzzeitig im Vergleich zur Schwingungsdauer — aus dem Wirkungsgrad des Wandlers. Die Schwingamplitude verhält sich in diesem Falle direkt proportional zum Wirkungsgrad und erreicht ihren höchsten Wert, wenn keine Belastung vorhanden ist und folglich der Wirkungsgrad dem Wert von 100 Prozent zustrebt.

Je kurzzeitiger aber die Stromimpulse gewählt werden, desto größer muß ihr Stromwert sein, wenn der Gabel je Schwingung dieselbe Energie zugeführt werden soll. Der durch den Spulenwiderstand

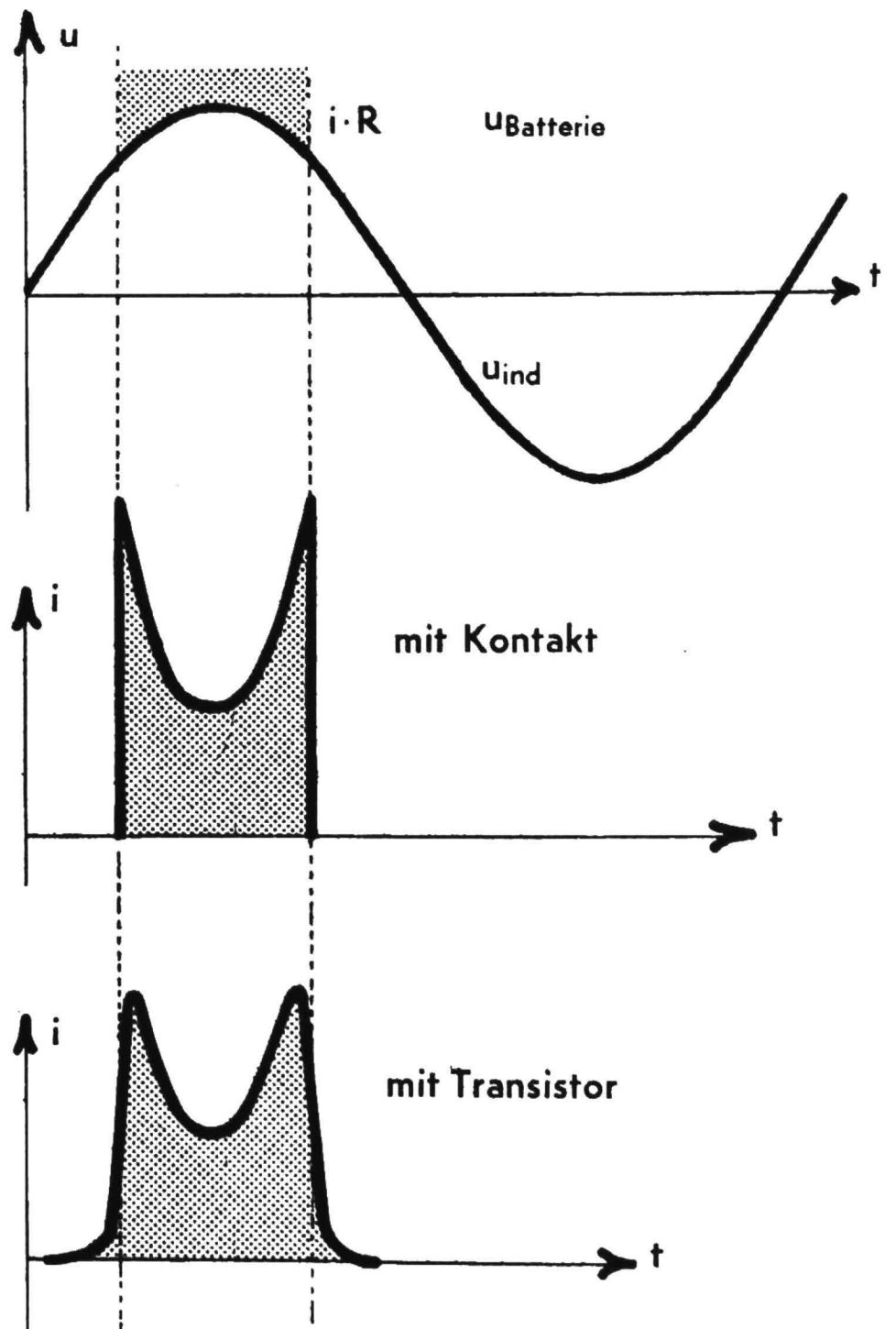
verursachte Spannungsabfall fällt jedoch für kurzzeitige Impulse höher aus als für langzeitige und verursacht einen kleineren Wirkungsgrad. Auf der anderen Seite erleidet ein langzeitiger Impuls ebenfalls einen Wirkungsgradverlust, da die induzierte Spannung infolge ihres sinusförmigen Verlaufes nur kurze Zeit auf ihrem Scheitelwert verweilt. Aus diesem Grunde gibt es einen günstigen Mittelwert der Impulsdauer, der für eine gegebene Belastung den höchsten Wirkungsgrad ergibt (Bild 27). Für die Accutronuhr berechnet er sich zu rund 25 Prozent der Schwingungsdauer, der zugehörige Wandlerwirkungsgrad beträgt 78 Prozent.

Es ist nun leicht einzusehen, warum der Antriebsstromimpuls als Höckerkurve auf dem Oszilloscopeschirm erscheinen muß (Bild 28). Dieser charakteristische Höcker, verursacht durch den sinusförmigen Verlauf der induzierten Spannung während der Impulszeit, ist auch kennzeichnend für eine gute Amplitudenstabilisierung der Stimmgabel.

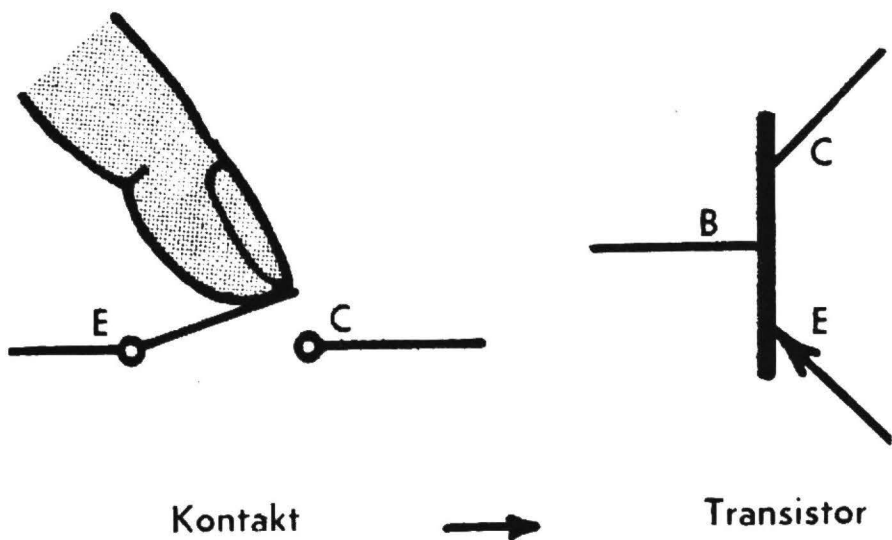
Für ideale Kontaktschaltung ergeben sich fast senkrechte Flanken der Höckerkurve, die mit Transistorschaltung in leicht geneigte Linien mit weichen Eintrittstellen übergehen. Da es den idealen Kontakt nicht gibt und ganz besonders nicht für die Frequenz der Accutron-Stimmgabel mit 360 Schwingungen je Sekunde, so ist man gezwungen, einen elektronischen Schalter zu wählen, wozu der Transistor sich vorzüglich eignet (Bild 29). Es sei aber besonders betont, daß der Transistor nichts mit der Amplitudenstabilisierung zu tun hat. Er kann diese sogar verschlechtern, wenn er zu weit von den Eigenschaften des idealen Kontaktes abweicht. In unserem Falle hat der Transistor die einzige Aufgabe, so gut wie möglich einen idealen Kontakt nachzubilden.



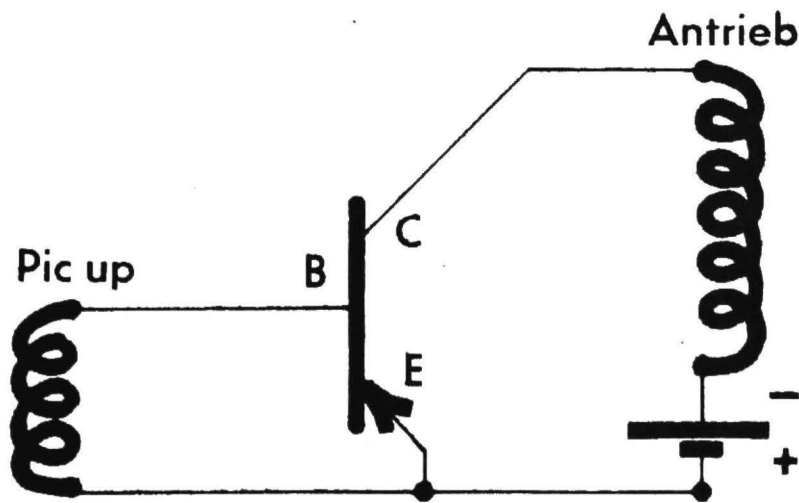
27 Günstigster Mittelwert der Impulsdauer



28 Höckerkurve des Antriebsimpulses



29
Der Transistor als Schalter



30
Selbststeuerung einer kontinuierlichen Schwingung

Der Transistor als Kontaktrelais betrachtet, soll vor allem zwei Zustände aufweisen: Der Kollektor-Emitter-Widerstand soll sehr groß oder sehr klein sein, denn Kollektor und Emitter bilden den eigentlichen Kontakt dieses Relais. Die Öffnung oder Schließung dieses Kontaktes wird durch die Spannung zwischen Basis und Emitter bewerkstelligt, indem diese positiv oder negativ angelegt wird.

Der Energiewandler wird mit zwei elektrisch getrennten Spulensystemen ausgerüstet, wodurch man in der Lage ist, die Schwingung der Stimmgabel rückzukoppeln und somit eine Selbststeuerung einer kontinuierlichen Schwingung vorzunehmen (Bild 30)

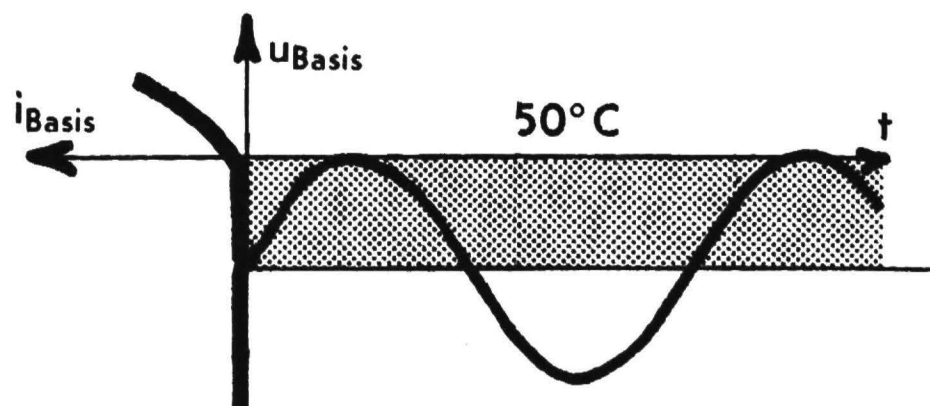
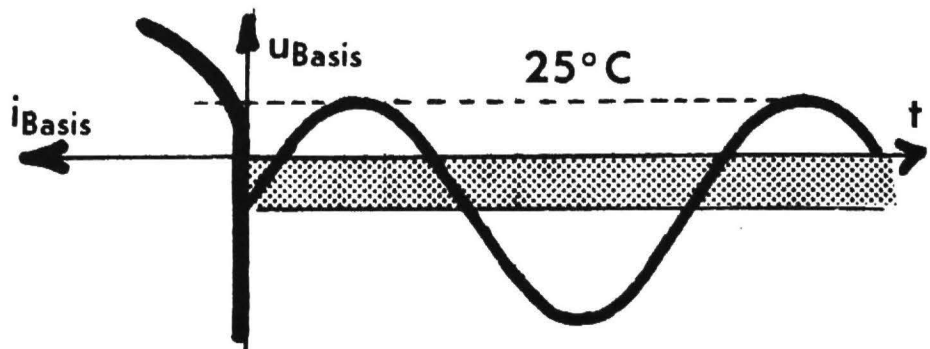
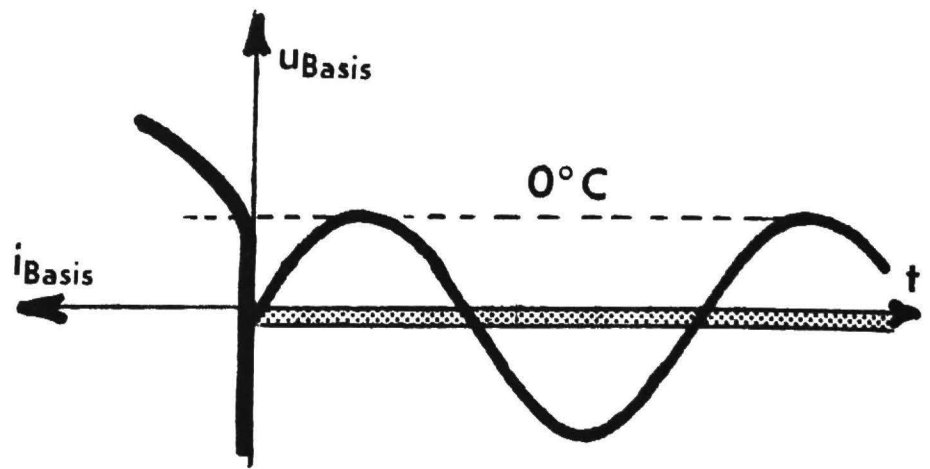
Das erste Spulensystem, Pick-up-Spule (Steuer-Spule) genannt, führt eine durch die mechanische Schwingung induzierte Spannung an die Basis des Transistors und steuert die Leitfähigkeit seiner Kollektor-Emitter-Strecke durch abwechselndes Umpolen der Spannung. Diese Leitfähigkeitsänderung wirkt sich wie die Öffnung und Schließung eines Kontaktes aus, wodurch dem zweiten Spulensystem, der Antriebsspule, im richtigen Augenblick Stromstöße zugeführt werden, die ihrerseits die Stimmgabel mechanisch antreiben.

Damit aber Transistoren die Bedingungen eines idealen Kontaktes so weit wie möglich erfüllen, sind einige Vorkehrungen zu treffen: die einfache Oszillatorschaltung mit nur zwei Spulen und einem Transistor reichen nicht aus, denn besonders Germaniumtransistoren weisen eine sehr große Temperaturabhängigkeit der Parameter auf. Die beiden Erscheinungen, die Sondermaßnahmen erfordern, sind die Abhängigkeit des Basis-Kollektor-Kriechstromes und der Cut-Off-Spannung der Temperatur.

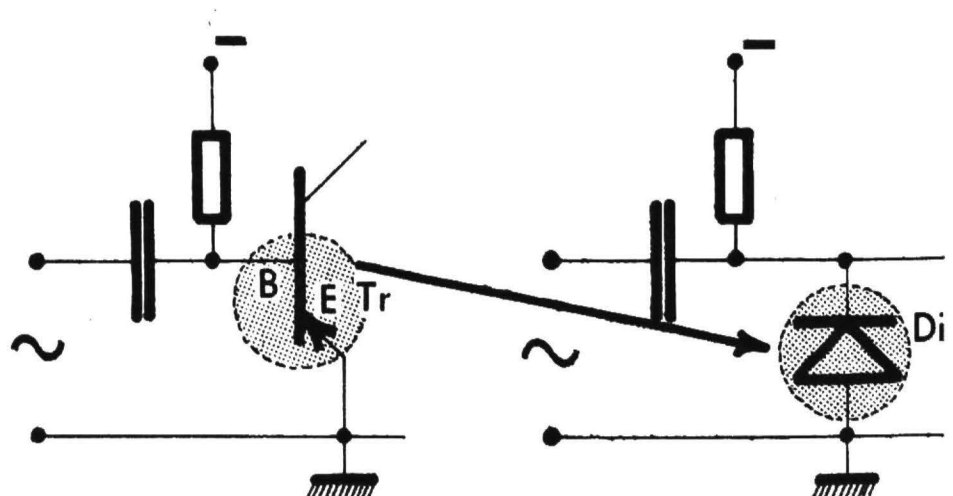
Die Temperaturabhängigkeit der Cut-Off-Spannung zwingt uns, eine automatische Arbeitspunktverlagerung vorzunehmen (Bild 31). Da der Cut-Off-Punkt aber mit dem Knie der Diode Basis-Emitter zusammenfällt, läßt sich eine solche automatische Arbeitspunktregulierung sehr einfach mit einem R-C-Glied im Basiskreis des Transistors bewerkstelligen (Bild 32).

Die zweite nachteilige Eigenschaft des Transistors betrifft die starke Temperaturabhängigkeit des Basis-Kollektor-Kriechstromes. Für Germaniumtransistoren wirkt sich dieser Kriechstrom im normalen Umgebungstemperaturbereich besonders schädlich aus, während er für Siliziumtransistoren erst über 100 Grad Celsius in Erscheinung tritt (Bild 33).

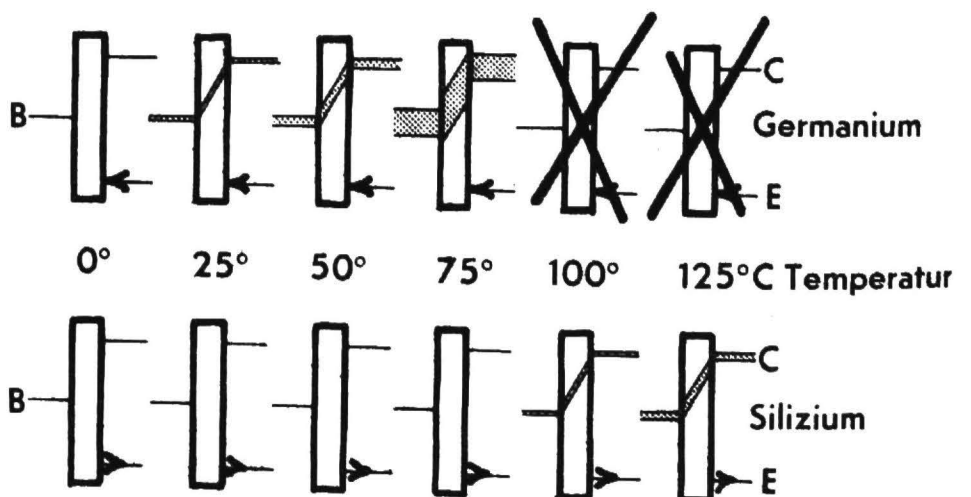
(Wird fortgesetzt)



31
Arbeitspunktverlagerung



32
Automatische Arbeitspunktregulierung



33
Kriechströme für Germanium und Silizium



BULOVA

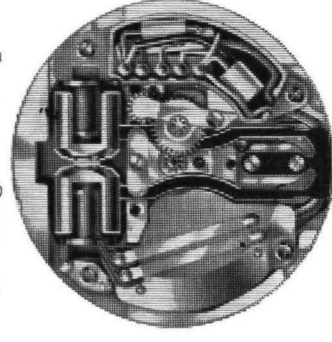
WAVA

BULOVA WATCH CO. INC. BIEL

BULOVA ACCUTRON® GARANTIERTE PRÄZISION 99,9977%

BULOVA ACCUTRON® der bedeutendste Fortschritt in der Uhrentechnik seit 300 Jahren. Die aussergewöhnlich gleichbleibende Präzision dieses Werkes, das von einem Schweizer Physiker in unseren Bieler Laboratorien entwickelt wurde, beruht auf einem vollkommen neuartigen Prinzip der Zeitmessung.

Zum ersten Mal kann die Genauigkeit am Handgelenk schriftlich garantiert werden.
Heute sind 200 000 BULOVA ACCUTRON® auf der ganzen Welt in Gebrauch.



® © Registered Mark



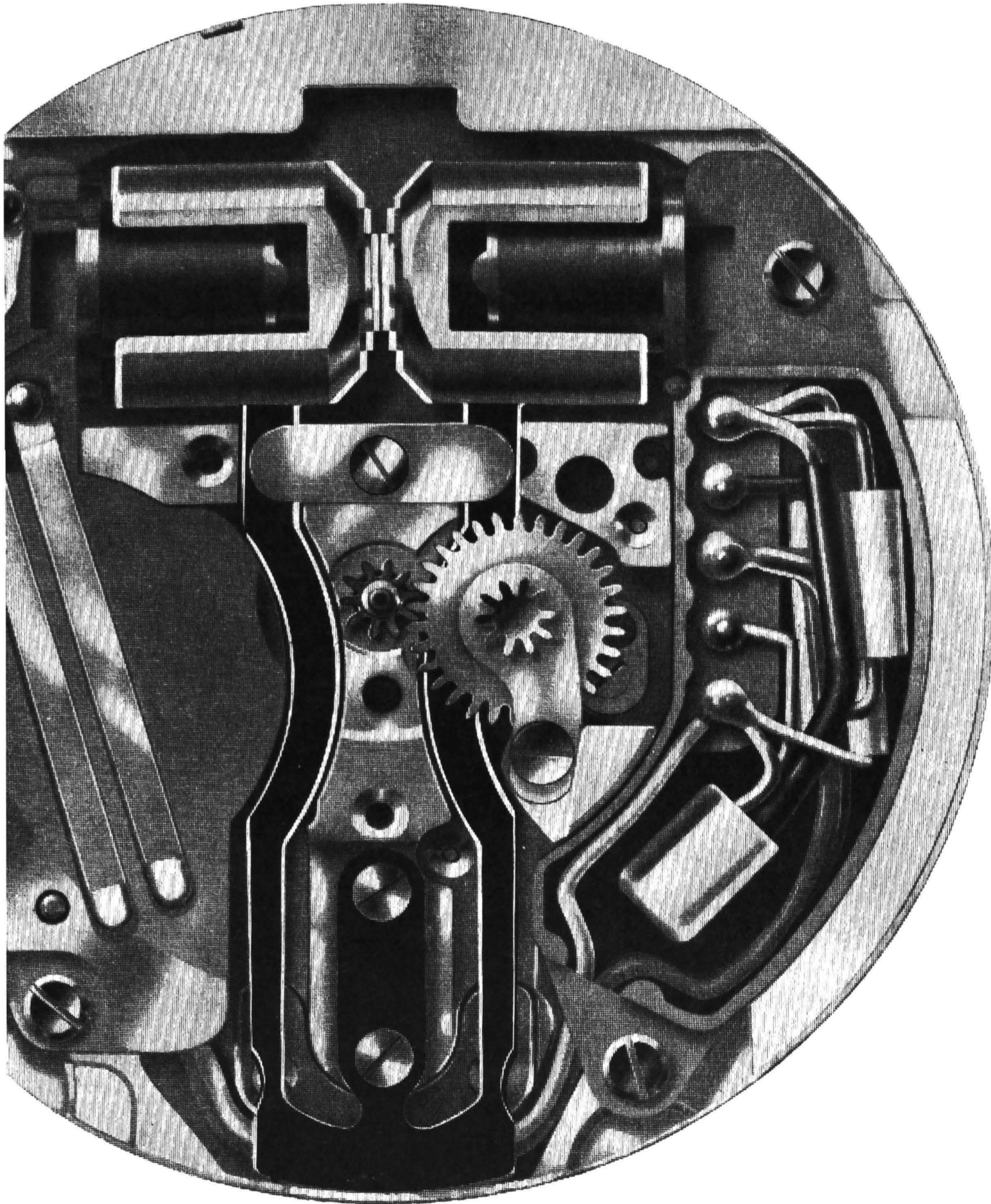
Symbol der Präzision durch Elektronik

Demnächst auf dem deutschen Markt erhältlich.
Besuchen Sie uns an der Schweizer Mustermesse in Basel, Halle I, Stand 221.

BULOVA

BULOVA GmbH. FRANKFURT

Garantierte Präzision 99,9977%



Symbol der
Präzision durch
Elektronik



BULOVA ACCUTRON® der bedeutendste Fortschritt in der Uhrentechnik seit 300 Jahren. Die aussergewöhnlich gleichbleibende Präzision dieses Werkes, das von einem Schweizer Physiker in unseren Bieler Laboratorien entwickelt wurde, beruht auf einem voll-

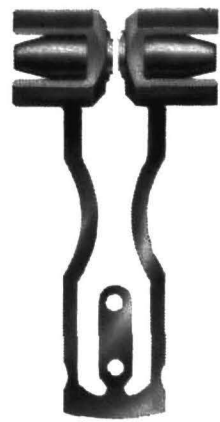
kommen neuartigen Prinzip der Zeitmessung. Zum ersten Mal kann die Genauigkeit am Handgelenk schriftlich garantiert werden.

Heute sind 200 000 BULOVA ACCUTRON® auf der ganzen Welt in Gebrauch.

© Registered Mark

BULOVA G.m.b.H. Verkaufsbüro Friedenstrasse 5 FRANKFURT a/M

Haben 300 Jahre Uhrmacherhandwerk dazu geführt?



Die Stimmgabel des Bulova Accutron* Zeitmessers.
Wird sie das ehrenwerte Uhrmacherhandwerk ruinieren?

Bulova denkt nicht daran. Wir gehören selbst zu dieser Zunft.

Als wir das Bulova Accutron-Prinzip erfanden, hatten wir eine ganz andere Idee im Kopf.

Einen neuen Kundenkreis zu schaffen, den es zuvor nicht gab.

Bulova wendet sich mit seinem Accutron Zeitmesser an einen gänzlich anderen Markt. An Leute, die mit ihrer herkömmlichen Uhr zufrieden sind. Die gewöhnlich keine neue Uhr kaufen würden.

Aber jetzt kaufen diese Leute einen Bulova Accutron Zeitmesser.

Das lässt sich leicht erklären.

Der Bulova Accutron Zeitmesser ist einzig in seiner Art. Es gibt nichts ähnliches.

Durch die Erfindung der Accutron-Stimmgabel konnten wir jede Sekunde in 360 gleiche Teile teilen. Ergebnis: ein schwaches Summen anstelle des üblichen Tick-tacks— und die genaueste Zeit, die es je gab. (Höchst-differenz in einem Monat:

60 Sekunden. Dafür garantieren wir.)

Und wenn Sie einen Käufer mit der genauesten Zeit aller Zeiten ausrüsten, haben Sie einen ausgezeichneten Verkäufer von Bulova Accutron Zeitmessern gewonnen.

Er wird es nicht lassen können, darüber zu sprechen. Er wird jedem, der in Hörweite ist, verkünden, dass die Zwölf-Uhr-Mittag-Sirene heute nicht um 12 Uhr losging, sondern um 11 Uhr 59 und 52 Sekunden.

Er wird keine Hemmungen haben, selbst die Uhrzeit seines besten Freundes zu korrigieren.

Er wird mit seiner Begeisterung die anderen Leute entweder zum Wahnsinn bringen oder zum Kauf eines Bulova Accutron Zeitmessers.

Und Ihr Geschäft mit der Bulova Accutron Auswahl im Schaufenster wird für sie die letzte Zuflucht sein.



BULOVA

Bulova GmbH, 6 Frankfurt/Main, Friedensstraße 5

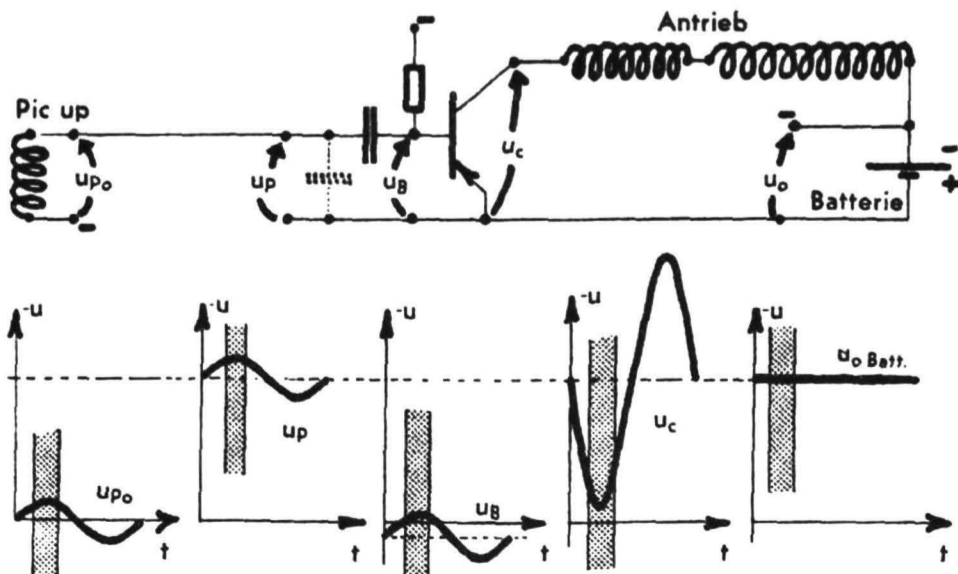
* eingetragenes Warenzeichen

Die Stimmgabel als Frequenznormal und ihre Verwendung in der elektronischen Uhr (IV)

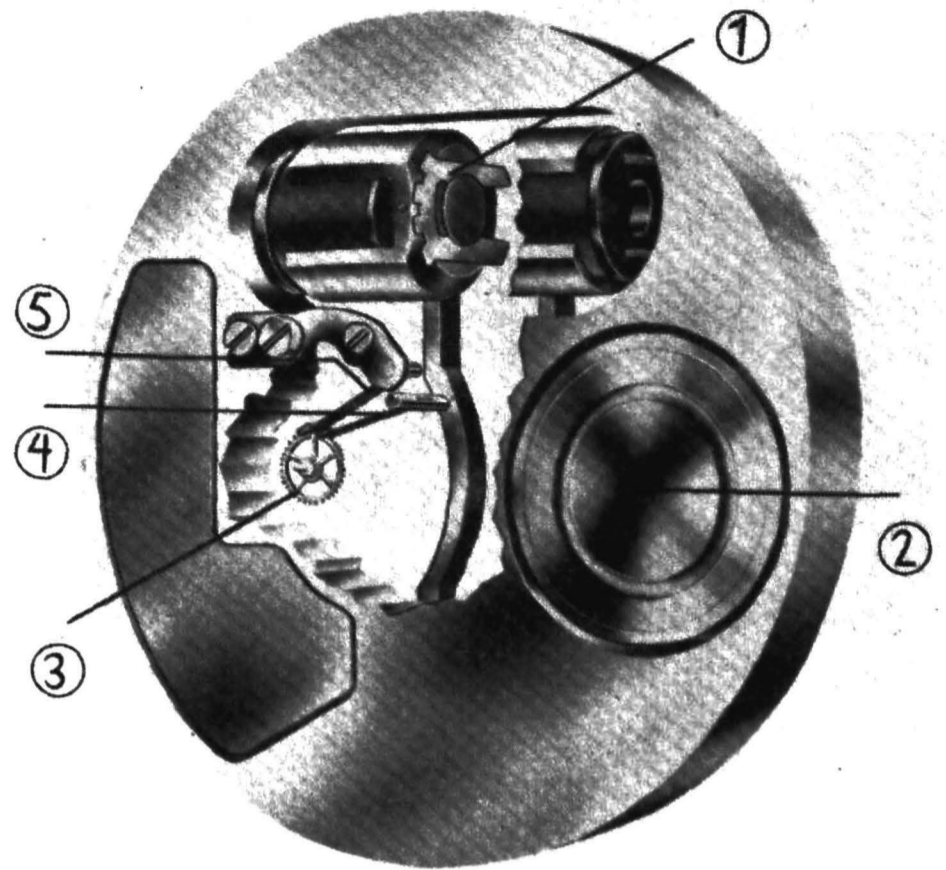
Dieser Kriechstrom hat dank der Amplitudenregulierung keinen unmittelbaren Einfluß auf die gute Arbeitsweise der Stimmgabeluhr, aber er belastet die Batterie unnötig, zudem sinkt der Wandlerwirkungsgrad wegen der Änderung des Impuls-Zeit-Verhältnisses.

Trotz dieser Nachteile arbeitet die Accutronuhr mit dem Germaniumtransistor in einem weiten Temperaturbereich bis 60 Grad Celsius sehr gut. Amplitudenstabilisation, RC-Basisglied und nicht zuletzt ein hervorragender Germaniumtransistor sind die Gründe für diese hohe Temperaturstabilität.

Am Schluß dieses Abschnittes über den elektronischen Antrieb seien noch die elektrischen und elektronischen Schaltelemente der Accutronuhr aufgezählt (Bild 34). Sie bestehen aus einer Pick-up-Spule, einem Parallelkondensator zur Unterdrückung parasitärer elektromagnetischer Schwingungen von einigen kHz, wie sie infolge magnetischer Kopplung von Pick-up- und Antriebsspule auftreten, dem RC-Basisglied, bestehend aus Kondensator, Widerstand und Diodenstrecke Basis-Emitter, weiter dem Transistor, aus zwei Antriebsspulen und einer Batterie. Die Schaltung scheint viele Elemente zu enthalten, aber wenn man die zum Wandler gehörenden Spulen und die Batterie nicht zum elektronischen Teil zählt, so verbleiben nur vier Elemente: ein Transistor, zwei Kondensatoren und ein Widerstand.



34 Elektronische Schaltelemente in der Accutronuhr.



35 Antriebsmechanismus der Accutronuhr: 1 Regulierungsmasse, 2 Batterie, 3 Klinkenrad, 4 Antriebsfinger, 5 Sperrklinke.

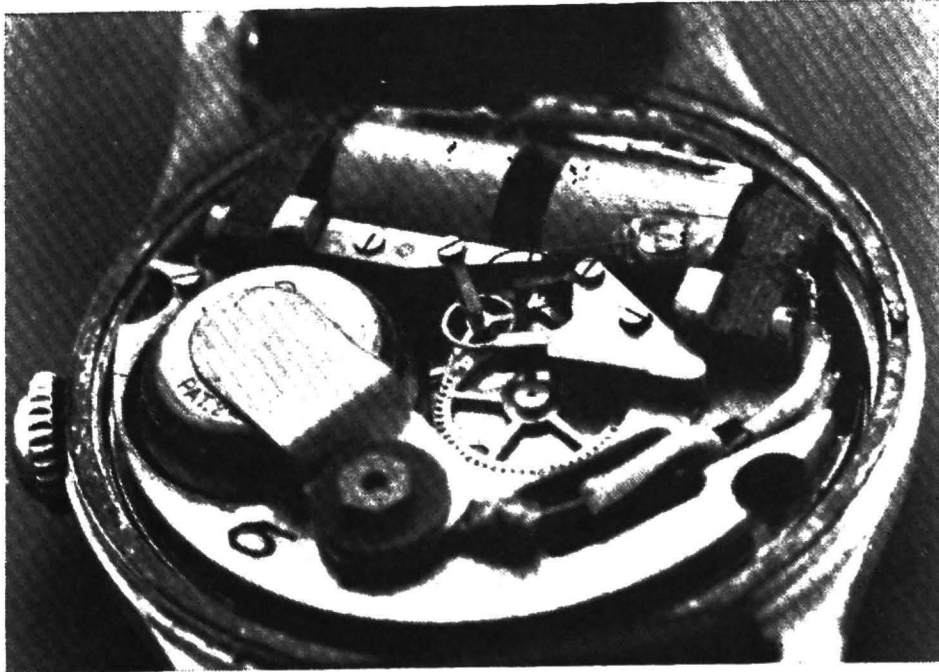
Es sei noch erwähnt, daß der Gesamtwirkungsgrad der Accutronuhr infolge Transistorverlusten von 78 Prozent auf 50 bis 60 Prozent abfällt. Dieser Wert ist je nach Temperatur und individuellem Transistor etwas verschieden und läßt sich deshalb nicht genau fassen. Für die Amplitudenstabilisierung gelten aber die 78 Prozent.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß man eine Stimmgabel für eine Armbanduhr mit hohem Wirkungsgrad, ohne Frequenzbeeinflussung und sogar mit guter Amplitudenstabilisierung elektronisch antreiben kann und dabei nur sehr bescheidene elektronische Mittel benötigt. Es verbleibt noch das Problem der Frequenzzählung und Zeitanzeige, welches dank der stabilisierten mechanischen Stimmgabelschwingung und der hohen Blindleistung dieses Schwingers nun sehr einfach und wirkungsvoll mechanisch gelöst werden kann.

4. Die mechanische Frequenzzählung

Die Hin- und Herbewegung der Stimmgabel wird mittels eines einfachen mechanischen Ratschensystems unmittelbar in eine Drehbewegung zum Antriebe eines üblichen Räder- und Zeigersystems umgewandelt. Die amplitudenkonstante Schwingung der Gabel ermöglicht die Verwendung des einfachsten Bauprinzipes einer solchen Ratsche mit einer blattfederförmigen Antriebsklinke und einer ebenso gebauten Sperrklinke, die beide in ein Zackenrad eingreifen (Bild 35). Die wichtigste Bedingung des Ratschensystems ist seine Trägheitslosigkeit, was voraussetzt, daß alle Teile dieses Systems und die Zähne des Ratschenrades äußerst klein ausgeführt werden müssen. Schon aus diesem Grunde kommt nur ein Ratschensystem der beschriebenen einfachsten Bauart in Frage. Wer ein Ratschensystem berechnet, wie es in der Accutronuhr verwendet wird, ist erstaunt festzustellen, daß weniger als ein Mikrowatt Leistung benötigt wird, um das Ratschenrad 360mal in der Sekunde zu beschleunigen und bis zum Stillstand abzubremsen. Diese Leistung ist so klein, daß sie nur etwa ein Viertel der gesamten Wirkleistung der Stimmgabel ausmacht.

Wenn man das Klinkenrad der Accutronuhr unter einem Mikroskop betrachtet, so kann man fast nicht glauben, daß sich die 300 scharfen Zähnchen, jedes nur rund $\frac{2}{100}$ mm lang, auf dem nur $\frac{4}{100}$ mm dicken und 2,5 mm großen Rädchen unter der ständigen Einwirkung der Klinken nicht bald abnutzen. Es ist aber eine Tatsache, daß die berechnete Leistung zum Antriebe dieses Rades zum größten Teil beim (durch Federkraft beschleunigten) Fall der Klinken von einem Zahn auf den nächsten und nicht in Form von Reibung auf den Zahnflächen vernichtet wird. Dadurch bleibt die Abnutzungsleistung äußerst klein. Ein mehr handgreiflicher Beweis der Beständigkeit dieser Räder wird durch die Prototypen der Accutronuhr geliefert,



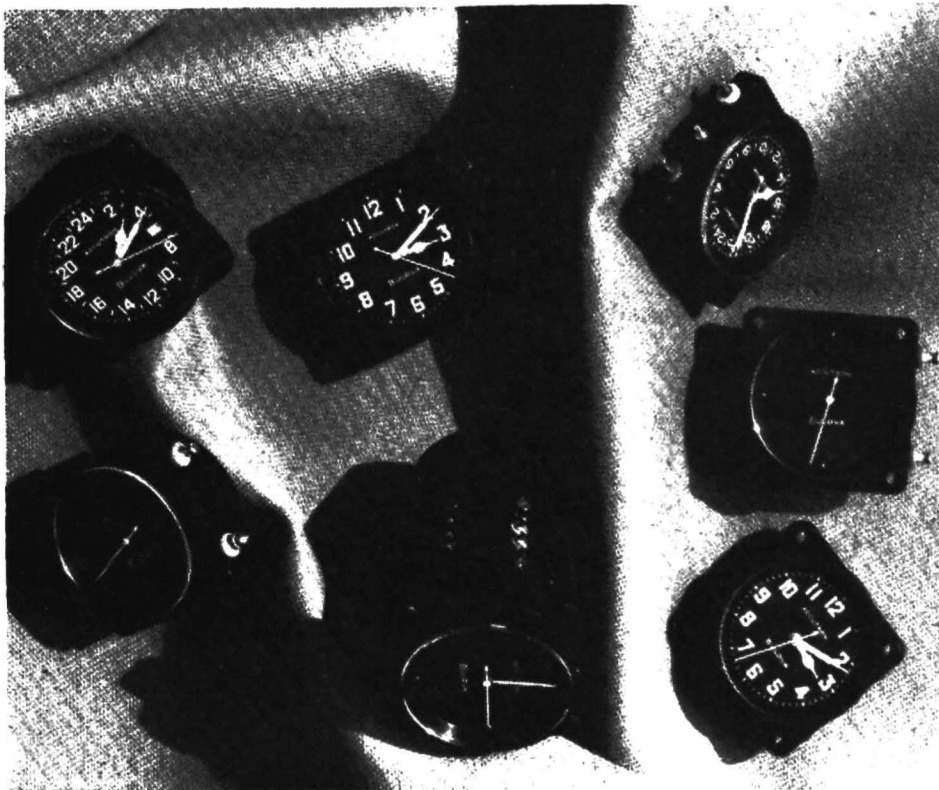
36
Prototyp der Accutron-Armbanduhr.

Mit dem Accutronprinzip können aber auch relativ große mechanische Leistungen mit großem Wirkungsgrad zur Ausführung schwerer Schalteroperationen erzielt werden. Der Versuchstimer in Bild 38 liefert 10 Milliwatt mechanische Leistung, schwingt mit 500 Schwingungen je Sekunde und darf bis zu 60 g Beschleunigung in allen Richtungen beansprucht werden.

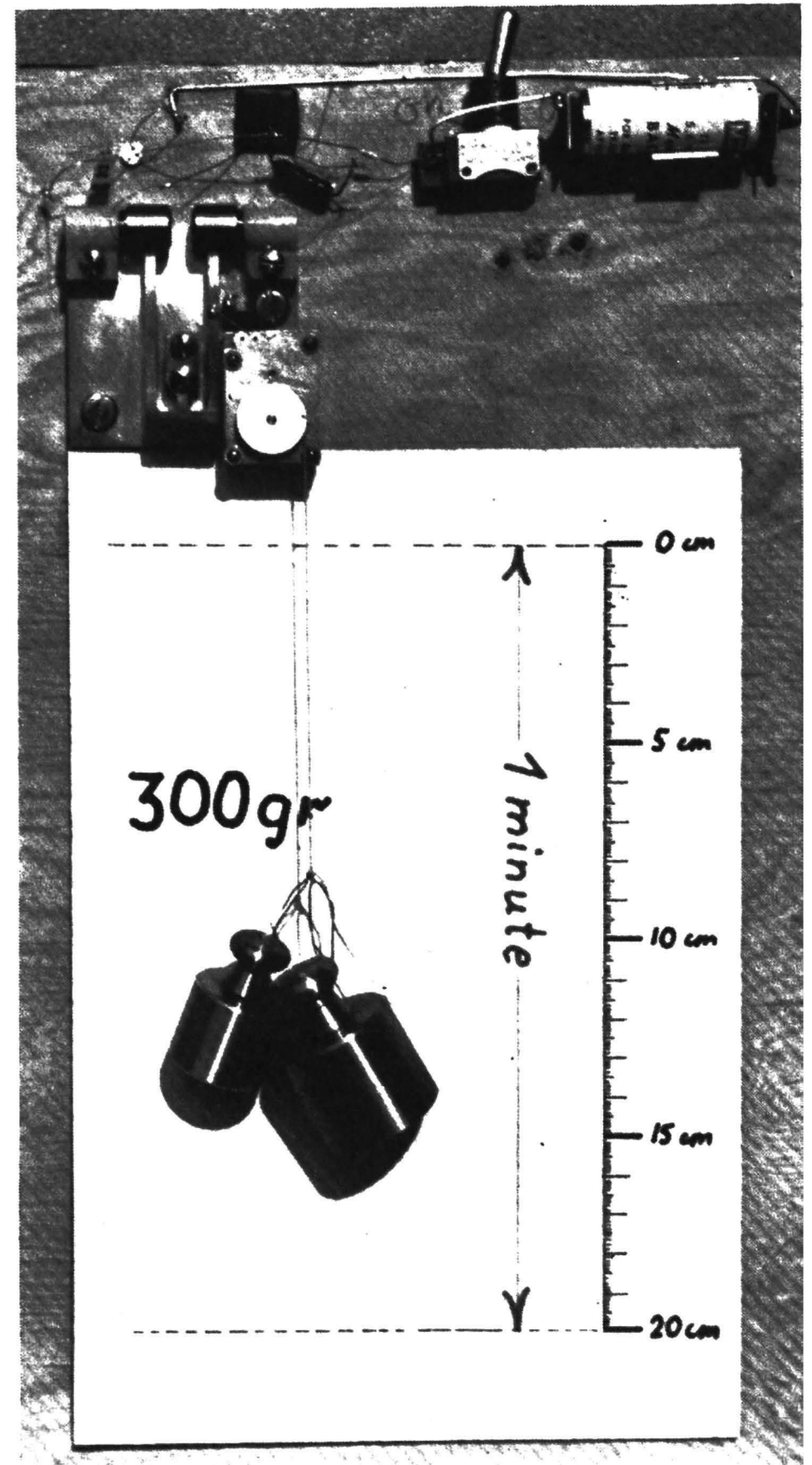
Eine weitere, erst kürzlich eingeführte Neuheit geht auch von Accutronstimmgabelschwingern aus: elektromechanische Schmalbandfrequenzfilter, die sich durch ihre Trennschärfe und ihren niederen Geräuschpegel vorzüglich für jene Fernsteuerungen und Fernmessungen eignen, bei welchen die Ansprechzeiten keine große Rolle spielen, dafür aber Sicherheit der Übertragung erste Bedingung ist.

Die weitaus größte Bedeutung wird die Stimmgabel ohne Zweifel in der Herstellung von Armbanduhren erlangen. Die Einführung der Stimmgabelarmbanduhr für Damen wird vorläufig wegen verschiedenen Schwierigkeiten verzögert, aber es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß auch diese Aufgaben gelöst werden, denn der Gesamtwirkungsgrad des Stimmgabelsystems ist selbst für kleinste Werkgrößen ermutigend. Schluß

37
Accutrontimer.



38
Versuchsausführung eines mechanischen Hebers nach dem Accutronprinzip.



die seit 1954 und 1955 ständig in Gang gehalten werden. Die Ratschenräder dieser Uhren drehen schon rund acht Jahre ohne Unterbrechung, und es ist immer noch keine Abnützung zu beobachten. Bild 36 zeigt einen der acht Prototypen, wie sie in Biel erfunden, entwickelt und konstruiert wurden. Diese Uhren sind in normale Herrenarmbanduhrgehäuse eingebaut.

Auch die Herstellung und Einregulierung der äußerst kleinen Teile des Ratschensystems bieten keine besonderen Schwierigkeiten. Man bedenke, daß die Klinkenarme als Blattfedern ausgeführt sind und dadurch viel größere Toleranzen der Abmessungen zulassen, als sie zum Beispiel für eine Ankerhemmung gestattet sind.

5. Schlußbetrachtungen

Die Anwendung des Accutronprinzipes wird nicht nur auf Armbanduhren beschränkt bleiben. Für verschiedene zivile und militärische Anwendungen werden jetzt schon Accutrontimer verwendet (Bild 37), die sich besonders dort hervorragend eignen, wo kleines Volumen, kleines Gewicht und Schaltzeiten von einigen Jahren verlangt werden. Einige dieser Langzeittimer sind in Satelliten eingebaut und kreisen gegenwärtig um die Erde, so zum Beispiel im Telstar I.



Verkaufen Sie ein Stück Satellit als Armbanduhr:

Die elektronische Armbanduhr Bulova Accutron.* Sie hat genau dasselbe Werk, das schon in über 40 Satelliten und Raumfahrzeuge eingebaut wurde. (In Telstar, Syncom, Explorer, Gemini und Pegasus zum Beispiel.)

Eine kleine Stimmgabel ersetzt die Unruh. Ihre Schwingungen teilen jede Sekunde in 360 gleiche Teile. Jetzt können Sie Ihren Kunden zum ersten Mal die Ganggenauigkeit einer Armbanduhr garantieren. Und zwar schriftlich. Höchstdifferenz: eine Minute pro Monat.

Verkaufen Sie also ein Stück Satellit als Armbanduhr. Damit es auch mit Ihrem Umsatz steil aufwärts geht.



Die Unruh wird immer noch in allen nicht-automatischen, automatischen und elektrischen Armbanduhren verwendet. Aber nicht im Bulova Accutron Werk.



In der Bulova Accutron ersetzt eine Stimmgabel die Unruh. Ihre 360 Schwingungen pro Sekunde erlauben uns, schriftlich für Ganggenauigkeit zu garantieren. Bulova Accutron ist die einzige Armbanduhr mit solcher Garantie.

Wir zeigen Ihnen gerne, wie Bulova Uhren den Umsatz unserer Fachhändler gesteigert haben. Schreiben Sie an Bulova GmbH, 6 Frankfurt/Main, Friedensstr. 5

* Eingetragene Warenzeichen

SUZ 1972, 10

Die neue Accuquartz von Bulova

von P. Béguin

Nachdem 1970 ihr erstes Modell einer Quarz-Armbanduhr in den Handel gelangte, entwickelte Bulova ein neues flacheres Kaliber, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Quarzkristall eine Stimmgabel analog derjenigen der Accutron-Uhren steuert und synchronisiert. Der Quarz zwingt dabei dem System seine Präzision auf, indem er die schon geringen Gangabweichungen der Stimmgabel, verursacht durch Lagen- und Temperaturwechsel, Magnetfelder usw. neutralisiert. Das Ergebnis liegt in einer Präzision von 1 bis 2 Sekunden pro Woche. Die mittlere tägliche Abweichung beim Tragen bleibt daher kleiner als 0,3 Sekunde. Die selten zu betätigende Zeigerstellvorrichtung gestattet eine Zeiteinstellung auf Sekundenbruchteile.

Eine Übersicht der Abmessungen dieser neuen Uhr und ihres Werkes vermittelt die **Abbildung 1**. Darauf sieht man oben die erste Uhr Accuquartz, deren rechteckiges Werk mit einer Oberfläche von 707 mm^2 und einer Dicke von $7,5 \text{ mm}$ schon eine bemerkenswerte Leistung darstellt. Darunter die neue Accuquartz mit einem runden Werk von $28,75 \text{ mm}$ Durchmesser, einer Oberfläche von 650 mm^2 und einer Dicke von bloss $5,3 \text{ mm}$, Kalender inbegriffen. Diese beträchtliche Volumenverminderung (3450 gegen 5300 mm^3) ist vor allem den Quarzabmessungen selbst zu verdanken. Die Länge der Quarzkapsel beträgt kaum die Hälfte derjenigen des vorhergehenden Kalibers (annähernd 13 gegen 27 mm), während die Eigenfrequenz des Quarzes das Vierfache beträgt ($32768 = 2^{15}$ gegen $8192 = 2^{13}$). Die Volumenverminderung macht die Uhr weniger empfindlich gegen Erschütterungen und Schläge.

Auf der **Abbildung 2** erkennt man die eigentlichen Abmessungen der Kapsel mit dem Quarz und der Stimmgabel. Die letztere schwingt mit der Frequenz von $341 \frac{1}{3} \text{ Hz}$ oder einem Drittel der Frequenz $1024 = 2^{10}$. Gewählt wurde diese Frequenz der Stimmgabel, weil die Bestimmung der mit dem Quarz verbundenen integrierten Schaltung erleichtert wird und die Umwandlung der Vibration in eine Drehbewegung weniger empfindlich ist. Der von der Stimmgabel ausgesandte sehr leichte Ton liegt zwischen dem mi_4 und dem fa der temperierten Tonleiter, also um ein geringes tiefer als bei der Accutron-Herrengrösse, deren Frequenz 360 Hz beträgt (zwischen dem fa und dem fis).

Die **Abbildung 3** zeigt, auf welche Weise die Organe übereinander gelagert sind. Eine in der Brücke ausgesparte Öffnung gibt den Blick frei auf das kleine mechanische Wunder der Klinkenschaltung Stimmgabel-Räderwerk, analog derjenigen der Accutron, deren System sich glänzend bewährt hat und das auch im neuen Kaliber wieder angetroffen wird.

Die **Abbildung 4** stellt die schematische Reihenfolge der Elemente dar, angefangen von der Batterie bis zu den Zeigern,



Abb. 1 Oben die erste Accuquartz mit rechteckigem Werk und $7,5 \text{ mm}$ Dicke. Unten die neue Accuquartz mit rundem Werk und $5,3 \text{ mm}$ Dicke.

dazwischen der Quarz und die Stimmgabel. Die wichtigsten Organe des Werkes, nämlich die Stimmgabel, der Quarz und die integrierte Schaltung, erscheinen auf der **Abbildung 5**. Die Schaltung ist dem Quarz überlagert und besticht durch ihr reduziertes Volumen, wie auf der **Abbildung 6** zu erkennen ist, worauf eine der Spulen, die Quarz-Kapsel und die Schaltung

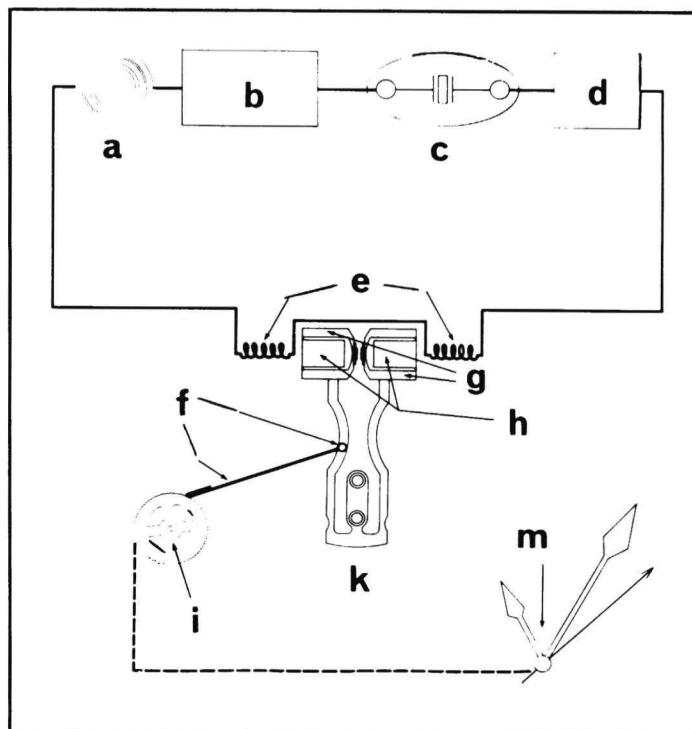


Abb. 4 Schematischer Aufbau der Elemente im Uhrwerk: a = Miniaturbatterie von $1,5 \text{ Volt}$ - b = Quarz-Schwingkreis - c = Kapsel mit dem Quarzkristall - d = integrierte Frequenzteiler - e = Antriebsspulen der Stimmgabel - f = Schaltklinke - g = Stimmgabelschalen - h = Magnete - i = Schaltrad - k = Stimmgabelgrundplatte - m = Zeiger.



Abb. 2 Vergleich der Abmessungen der Stimmgabel und der Kapsel mit dem Quarz.

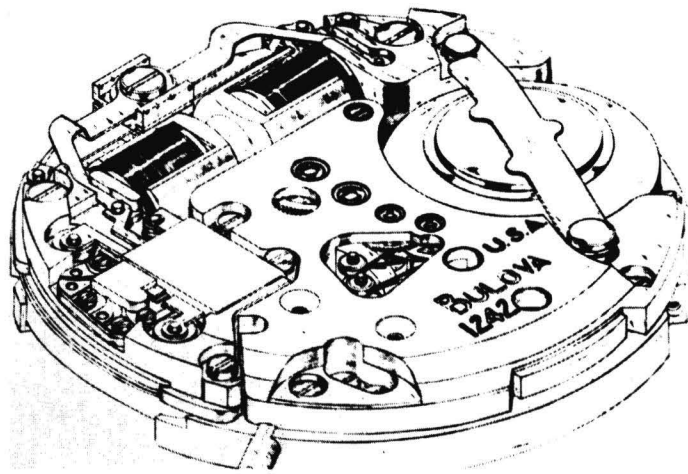


Abb. 3 Das vollständige Werk der neuen Accuquartz.

mit der ganzen Uhr und einem Bleistift verglichen werden. Die Schaltung besteht aus 126 Transistoren, Widerständen und Kondensatoren. Ihr Volumen beträgt bloss 31 mm³. Entwickelt wurde sie von einer Ingenieurgruppe der Bulova, fabriziert von der Gesellschaft Intersil in Cupertino, Kalifornien.

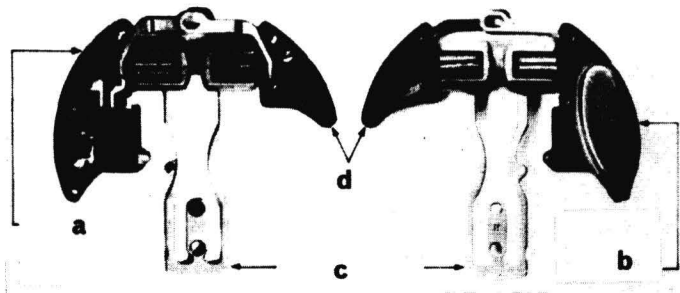


Abb. 5 Hauptelemente der neuen Accuquartz, links von unten gesehen, rechts von der Zifferblattseite her. a = Block der integrierten Schaltung - b = Quarzkapsel - c = Stimmgabel - d = Batterieblock.

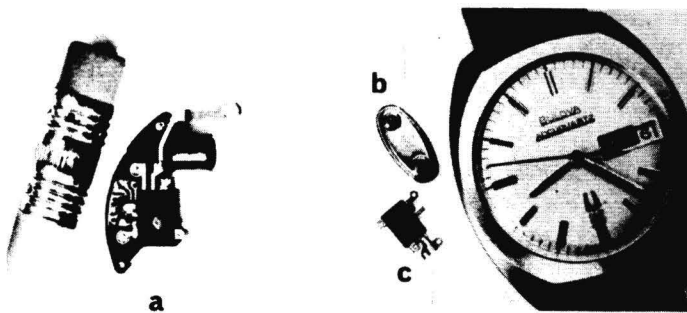


Abb. 6 Vergleich der Abmessungen einiger Organe mit einem Bleistift (links) und der vollständigen Uhr. a = Block der integrierten Schaltung - b = Quarzkapsel - c = vollständige integrierte Schaltung.

Die Abbildung 7 zeigt die Uhr von vorne und im Profil, mit Datum und Wochentag. Die beiden letztern werden augenblicklich geschaltet.

Die Energiequelle besteht aus einer Quecksilber-Miniaturbatterie, die einen einwandfreien Gang während mindestens einem Jahr verbürgt. Der Batterie-Ersatz empfiehlt sich alljährlich um das gleiche Datum herum, ohne dass man das Stillstehen der Uhr abwartet. Dieser Wechsel ist von einem geschulten Uhrmacher vorzunehmen, der gleichzeitig evtl. geringfügige Gangkorrekturen vornehmen kann.

Erwähnen wir abschliessend, dass in dieser Uhr zwei Reihen von Erfindungen von Bulova vereint sind, wobei die eine das elektronische Stimmgabelwerk, die andere den Quarzkristall und seine Befestigung betrifft. Die neuen Uhren Accuquartz haben eine zweijährige Garantie gegen jegliche Fabrikationsmängel. Bei den weltweiten Konzessionären Bulova werden sie schon im Verlaufe des Jahres 1972 verfügbar sein.

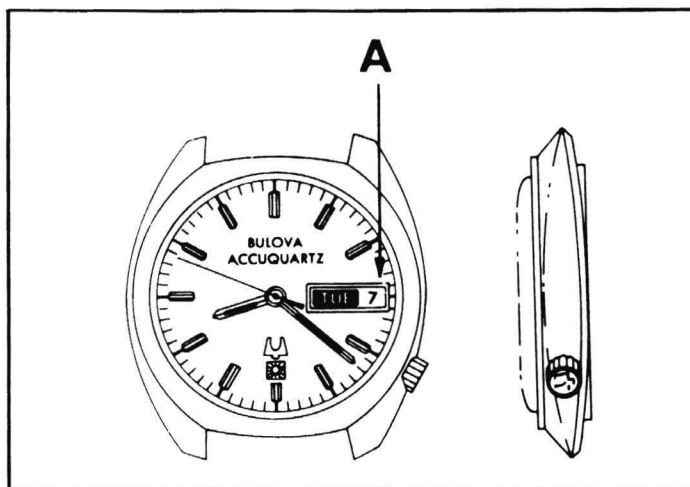


Abb. 7 Die neue Accuquartz von vorne und im Profil. A = Datum und Wochentag mit Sofortschaltung.

