

Eine Lösung, die der Erfüllung dieser Anforderungen wenigstens zum Teil nahekommt, ist 1922 von Schieferstein angegeben worden. Schieferstein, der von Haus aus Hochfrequenztechniker ist, hat zuerst in umfassender Form die auf diesem Gebiete gewonnenen physikalischen Erfahrungen auf mechanische Schwingungssysteme zu übertragen versucht. Er machte dabei grundsätzlich von einer elastischen Kopplung zwischen dem mechanischen Schwingungssystem (Pendel, Unruh) und dem Antriebsorgan (Gangrad) Gebrauch. Mit Hilfe einer solchen elastischen Kopplung gelingt es, den bisher üblichen stoßartigen Gangradimpuls in eine sinusförmig und phasenrichtig angreifende Kraft zu verwandeln. Es soll Schieferstein auf diesem Wege gelungen sein, gewöhnliche Weckerwerke unter Ersetzung des Taktgebers durch sein Spezialpendel in Präzisionsuhren umzuwandeln, deren Zeitangabe pro Tag nur um 0,1 bis 0,2 sec. von der wahren Zeit abwich.

Das Prinzip der Schiefersteinschen Uhr ist aus Bild 1 zu erkennen. Das in üblicher Weise an einer Feder aufgehängte Pendel P trägt an seinem Oberteil die gebogene

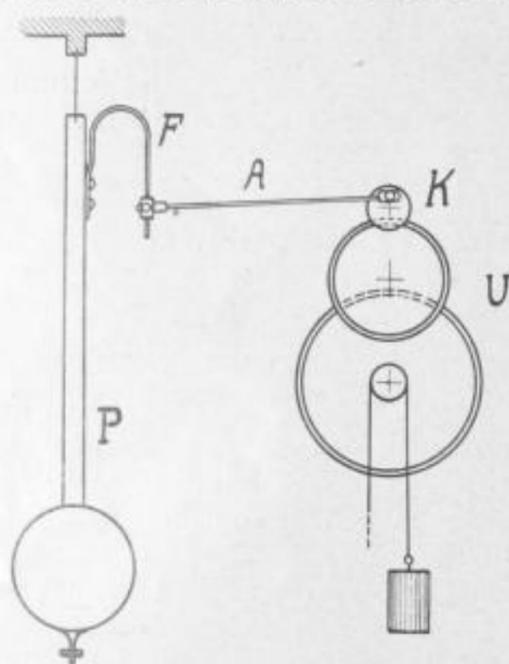


Bild 1: Pendel nach Schieferstein

Feder F , an deren Ende der Hebelarm A angreift, der mit der Kurbel K verbunden ist. Die Kurbel K sitzt auf der am raschesten laufenden Welle des Uhrwerkes U . Sobald das Pendel angestoßen wird, vermag die Kurbel K sich dem Zuge des Uhrwerkes entsprechend zu drehen und dabei gleichzeitig dem Pendel Energie für die Aufrechterhaltung seiner Schwingung zuzuführen. Die Bewegung des Hebels A verläuft praktisch völlig sinusförmig. Die richtige Phase stellt sich infolge der elastischen Kopplung von selbst ein. Durch die Rückwirkung der Pendelschwingung wird die Umlaufgeschwindigkeit der Kurbel K in Synchronität gehalten: Das Pendel wirkt also in der gewünschten Form als Taktgeber für das angeschlossene Uhrwerk U .

Jedoch auch das Schiefersteinsche System weist noch einen wesentlichen Nachteil auf: Es erfüllt nur die eine der aufgestellten Forderungen. Wenn auch die Kraftübertragung sinusförmig geworden ist, so bleibt doch die zur Inerthaltung der Kurbel K erforderliche Energieentziehung nicht unerheblich und wirkt sich als Dämpfung aus. Die Herabdrückung der Dämpfung ist jedoch das wichtigere Problem.

Es ist daher nicht überraschend, daß die in letzter Zeit so viel besprochene „Shortt-Uhr“, die im Gegensatz zu den Schiefersteinschen Konstruktionen in erster Linie im Hinblick auf extreme Unterdrückung jeder Dämpfung gebaut ist, so vorzügliche Ergebnisse aufweist. Bei der Shortt-Uhr¹⁾ schwingt der eigentliche Taktgeber, das Hauptpendel, vollkommen frei und hält nur durch Kontakte ein Hilfspendel in Synchronismus, das seinerseits mit dem Steigrad des Uhrwerkes in üblicher Weise zusammenwirkt. Der Antrieb des freischwingenden Taktgebers erfolgt rein elektrisch durch ein von seinen Kontakten gesteuertes

¹⁾ Vgl. Uhrmacher-Woche Nr. 45, 46 und 47/1929.

Solenoid, das einen am Taktgeber befestigten Anker periodisch anzieht. Die so erzeugte Triebkraft greift natürlich durchaus nicht sinusförmig an, sondern entspricht in ihrer Wirkungsweise noch dem Stoßimpuls des üblichen Steigrades. Ferner ist die von der Kontaktgabe hervorgerufene Dämpfung trotz aller zu ihrer Erniedrigung herangezogenen Mittel nicht völlig zu vernachlässigen. Auch die Shortt-Uhr ist also vom theoretischen Ideal noch entfernt.

Einen weiteren Schritt zur Annäherung an das theoretische Ideal ist von Schuler (Göttingen)²⁾ in neuester Zeit gegangen worden, indem er die Kontakte der Shortt-Uhr durch Mittel ersetzte, welche für Zwecke der Koinzidenzaufnahme vor einiger Zeit bereits von Snook (amerik. Pat. 1565596) vorgeschlagen und von Ferrié (Paris) eingehender geprüft worden sind. Diese bestehen in der Anbringung einer Blende am Pendel, die nur bei einer bestimmten Pendelstellung einen Lichtstrahl auf eine photoelektrische Zelle fallen läßt, in der dieser dann einen Stromstoß erzeugt. Da die Durchschneidung eines Lichtstrahles keiner Energie bedarf, fällt also hier jede nur irgend vermeidliche Dämpfung weg. Trotzdem bleibt der Antrieb natürlich auch hier noch durchaus stoßartig.

Eine vollkommen sinusförmige Antriebskraft, deren Inerthaltung gleichzeitig praktisch ohne Entziehung von Energie aus dem schwingenden System erfolgen kann, läßt sich erst auf dem Wege der „Verstärkung“ erzielen. Das Prinzip einer jeden „Verstärkung“ besteht bekanntlich darin, daß mit Hilfe einer kleinen Kraft eine größere Kraft in vollkommen proportionaler Form gesteuert wird. Wenn es auch eine Reihe von mechanischen Wegen zur „Verstärkung“ gibt (z. B. Steuerung eines Gas- oder Flüssigkeitsstromes mit Hilfe von Ventilen), so besitzt doch die elektrische Verstärkung heute überwiegende Bedeutung und sei daher im folgenden allein berücksichtigt. Sie wird mit Hilfe der bekannten Elektronenröhren durchgeführt, bei denen die Stärke des Anodenstromes sich proportional der dem Gitter aufgeprägten Spannung ändert. Die Elektronenröhre ermöglicht es, mit minimalen, dem schwingenden System entnommenen Energien (d. h. praktisch dämpfungslos) die zu seinem Antrieb erforderliche Energie sinusförmig und phasenrichtig zu steuern, d. h. alle theoretisch gegebenen Forderungen voll zu erfüllen. Auf dieser Grundlage gelangt man zu ungedämpft schwingenden Systemen von extremer Konstanz, deren Verhältnisse sich so günstig gestalten, daß sie für die Zeitmessung einen grundlegenden Fortschritt zu bringen versprechen.

Von den heute in dieser Hinsicht üblichen Verfahren geht das eine auf Cady³⁾, das andere auf Karolus und Hensel⁴⁾ zurück.

Die Methode von Cady beruht auf den von Pierre Curie entdeckten piezoelektrischen Erscheinungen an Quarzplatten, die aus lebendig gewachsenem Quarz unter bestimmter Berücksichtigung seiner optischen Eigenschaften geschnitten sind. Sobald man derartige Quarzplatten einer Dehnung oder Pressung unterwirft, tritt zwischen ihren beiden Flachseiten eine elektrische Potentialdifferenz auf. Dehnung und Pressung einer Quarzplatte können auf elektrischem Wege erzielt werden, indem man ihre Flächen mit Metall überzieht (z. B. versilbert) und an die entstehenden Belegungen eine Spannungsdifferenz legt. Bekanntlich ziehen sich ja die Belegungen eines Kondensators gegenseitig an, wenn sie auf verschiedenes Potential geladen werden, stoßen sich hingegen ab, wenn man sie auf gleiches Potential lädt. Die zwischen den Belegungen befindliche Quarzplatte erfährt dabei unendlich geringe, aber doch immerhin feststellbare Deformationen: sie wird senkrecht zu ihrer Oberflächen-Ebene zusammengedrückt bzw. auseinandergezogen. Den Deformationen setzt der Quarz seine elastische Kraft entgegen. Diese elastische Kraft bildet in Verbindung mit dem Trägheitsmoment der bei

²⁾ M. Schuler, Zeitschr. f. techn. Physik, Bd. X (1929), Seite 392 ff. (Heft 9, erschienen Anfang Oktober 1929).

³⁾ W. G. Cady, Piezoelectric standards of high frequency Journ. of the Opt. Soc. of Am. Vol. 10, (1928) vgl. auch Scheibe, Referat über Normalfrequenzen und absolute Frequenzmessung, Zeitschrift für Hochfrequenztechnik, Bd. 29 (1927), Heft 4 und 5.

⁴⁾ W. Hensel, Untersuchungen über die Konstanz elektrisch erregter mechanischer Schwingungen, Dissertation Leipzig 1928.