

Inhaltsverzeichnis

0.	Einleitung	9
1.	Einteilung elektrischer und elektronischer Uhren	10
2.	Elektrische Uhren	11
2.1.	Physikalische Grundlagen	11
2.1.1.	Strom, Spannung, Widerstand	11
2.1.2.	Messen der elektrischen Größen	13
2.1.3.	Magnetisches Feld	16
2.1.4.	Elektromagnete	18
2.1.5.	Permanentmagnete	19
2.1.6.	Elektromotoren	22
2.1.6.1.	Gleichstrommotoren	23
2.1.6.2.	Allstrommotoren	25
2.1.6.3.	Wechselstrommotoren	25
2.1.6.4.	Asynchronmotoren	26
2.1.7.	Elektrische Schalter	28
2.2.	Aufbau und Wirkungsweise elektrischer Uhren	34
2.2.1.	Indirekt angetriebene elektrische Uhren	34
2.2.1.1.	Indirekt angetriebene elektrische Uhren mit Motoraufzug	36
2.2.1.2.	Indirekt angetriebene elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug	39
2.2.2.	Elektrische Uhren mit schwingergesteuertem Antrieb	43
2.2.3.	Direkt angetriebene elektrische Uhren	45
2.2.4.	Elektrische und elektronische Uhren mit zentralem Zeitnormal	48
2.3.	Frequenznormale elektrischer Uhren	51
2.3.1.	Kontaktgesteuerte Pendel	51
2.3.2.	Kontaktgesteuerte Drehschwinger	55
2.4.	Steuerungen indirekt angetriebener elektrischer Uhren	62
2.4.1.	Steuerungen für Elektromotoren	62
2.4.2.	Steuerungen für elektrische Energiewandler mit mechanischem Speicher- element	66
2.5.	Umformerelemente elektrischer Uhren	68
2.5.1.	Umformerelemente direkt angetriebener elektrischer Uhren	69
2.5.2.	Umformerelemente indirekt angetriebener elektrischer Uhren	74
2.6.	Anzeigemittel elektrischer Uhren	79
2.6.1.	Zeigeranzeigen	79
2.6.2.	Ziffernanzeigen	80
3.	Elektronische Uhren	84
3.1.	Bauelemente elektronischer Uhren	84
3.1.1.	Transistoren	84

**Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch,
welches Sie hier erwerben können:
www.uhrenliteratur.de**

3.1.2.	Integrierte Schaltungen in elektronischen Uhren	88
3.2.	Wirkungsweise elektronischer Uhren	93
3.2.1.	Elektronische Uhren mit direktem Antrieb	94
3.2.1.1.	Drehschwingerantrieb	94
3.2.1.2.	Tonfrequenter Antrieb	96
3.2.1.3.	Hochfrequenter Antrieb	98
3.2.2.	Synchronisierte elektronische Uhren	107
3.3.	Frequenznormale elektronischer Uhren	113
3.3.1.	Elektronisch gesteuerte Drehschwinger	113
3.3.2.	Elektronische tonfrequente Biegeschwinger	119
3.3.3.	Piezoelektrische Schwinger	121
3.4.	Umformerelemente elektronischer Uhren	129
3.4.1.	Rädergetriebe elektronischer Uhren	130
3.4.2.	Schrittschaltgetriebe elektronischer Uhren	130
3.4.3.	Elektronische Frequenzteiler	132
3.5.	Energiewandler elektronischer Uhren	137
3.5.1.	Elektromechanische Wandler	138
3.5.1.1.	Umlaufende unipolare Wandler	139
3.5.1.2.	Umlaufende bipolare Wandler	140
3.5.1.3.	Unipolare Wandler mit Winkelschritt	142
3.5.1.4.	Bipolare Wandler mit Winkelschritt	143
3.5.2.	Elektronische Wandler	144
3.6.	Anzeigemittel elektronischer Uhren	145
3.6.1.	Mechanische Anzeigemittel	145
3.6.1.1.	Zeigeranzeigen	145
3.6.1.2.	Digitale mechanische Anzeigen	146
3.6.2.	Elektronische Anzeigen	146
3.6.2.1.	Flüssigkristallanzeigen	147
3.6.2.2.	Helligkeitsverstärkte Flüssigkristallanzeigen	150
3.6.2.3.	Leuchtdiodenanzeigen	151
3.6.2.4.	Elektrochromatische Anzeigen	152
3.7.	Bedienelemente elektronischer Uhren	153
3.7.1.	Bedienelemente mit galvanischem Verbindungscharakter	153
3.7.2.	Bedienelemente mit indirektem galvanischem Verbindungscharakter	154
3.7.3.	Bedienelemente mit elektronischem Verbindungscharakter	154
4.	Signaleinrichtungen	156
4.1.	Wirkungsweise elektrischer und elektronischer Schallquellen	156
4.1.1.	Elektromechanische Schallquellen	156
4.1.2.	Schallquellen mit elektronischer Steuerung	158
4.2.	Programmiereinrichtungen für elektromechanische oder elektronisch gesteuerte Schallquellen	160
4.2.1.	Elektromechanische Steuerungen	161
4.2.2.	Elektronische Steuerungen	164
5.	Zusatzeinrichtungen elektronischer Uhren	166
5.1.	Zeigerschnellkorrekturschaltungen	166
5.2.	Elektronische Kalender	167

5.3.	Programmebereinrichtungen	169
5.4.	Regenerierschaltungen für die Energiequelle elektronischer Uhren	171
6.	Elektrische Energiequellen	172
6.1.	Primärelemente	172
6.1.1.	Braunstein-Zink-Element	177
6.1.2.	Alkalisches Braunstein-Zink-Element	178
6.1.3.	Quecksilberoxid-Element	179
6.1.4.	Silberoxid-Element	180
6.2.	Sekundärelemente	181
6.2.1.	Blei-Schwefelsäure-Element	181
6.2.2.	Nickel-Cadmium-Element	182
6.2.3.	Gasdichte Nickel-Cadmium-Zellen	183
7.	Oszilloskope als uhrentechnische Prüfmittel	185
7.1.	Aufbau und Wirkungsweise von Elektronenstrahloszilloskopen	185
7.2.	Ausführungen	186
7.3.	Einsatz des Oszilloskops	188
8.	Abgleichmittel für elektrische und elektronische Uhren	193
8.1.	Wirkungsweise von Gangkontrollgeräten	193
8.2.	Gangkontrollgeräte zur visuellen Auswertung des Ganges	194
8.3.	Gangkontrollgeräte mit gedrucktem Gangdiagramm	195
9.	Hinweise für das Instandsetzen elektrischer und elektronischer Uhren	197
9.1.	Instandsetzen elektrischer Uhren	197
9.1.1.	Instandsetzen netzgespeister Uhren	197
9.1.2.	Instandsetzen elektrischer Uhren mit galvanischer Spannungsquelle	198
9.1.3.	Instandsetzen indirekt angetriebener elektrischer Uhren	198
9.1.4.	Instandsetzen direkt angetriebener elektrischer Uhren	199
9.2.	Instandsetzen elektronischer Uhren	200
9.3.	Instandsetzen von Quarzuhren	201
9.4.	Instandsetzen von Uhrenanlagen	202
9.5.	Instandsetzen von Signaleinrichtungen	202
	Sachwörterverzeichnis	204

Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch, welches Sie hier erwerben können:
www.uhrenliteratur.de

Die Schaltung arbeitet bei fehlendem Steuerimpuls als astabiler Multivibrator, d. h., sie schaltet sich selbständig ein und aus. Der Rhythmus des Schaltens wird von der Größe des Kondensators C und dem Widerstand $R4$ bestimmt. Sie bilden zusammen ein Zeitglied mit der Periodendauer $\tau = CR4$. Die Schwingung entsteht durch Aufladen des Kondensators über die Widerstände $R3$; $R2$; $R4$ und das damit verbundene Öffnen des Transistors $V2$. Es entsteht eine Kippschwingung, die zum raschen Aufschaukeln und Synchronisieren der Schaltung durch den Schwingermotor führt. Den Impulsverlauf der Schaltung im von der Unruh gesteuerten Schalterbetrieb zeigt Bild 3.44.

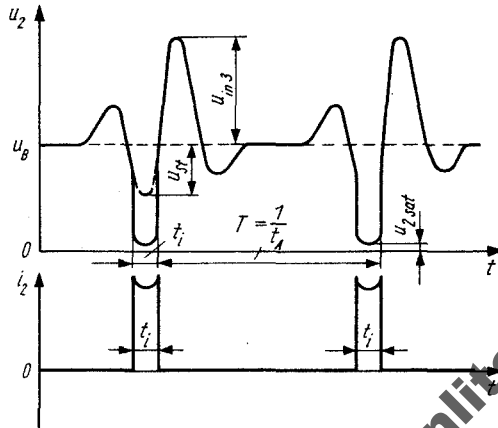


Bild 3.44. Impulsbild einer Stabilisierungsschaltung

U_2 Steuerspannung; U_{in3} induzierte Spannung durch Magneten; U_{2sat} Sättigungsspannung; t_i Dauer des Antriebsimpulses; T Schwingungsdauer des Schwingers

Infolge ihrer Funktionsweise nähern sich die Eigenschaften der Schaltung einem Schalter, der im ausgeschalteten Zustand nahezu keinen Strom leitet. Sie eignet sich darum besonders für elektronisch gesteuerte Armbanduhren, die aus einer Spannungsquelle mit geringem Energieinhalt gespeist werden. Solche Spannungsquellen haben einen nahezu geradlinigen Verlauf der Entladekennlinie. Man verzichtet deshalb auf besondere Maßnahmen zur Spannungstabilisierung.

3.3.2. Elektronische tonfrequente Biegeschwinger

Schwinger für elektronisch gesteuerte Uhren, deren Nennfrequenz im Bereich der hörbaren Frequenzen liegt, lassen sich wegen der hohen Trägheit nicht als Drehschwinger aufbauen. Sie erfordern sehr steife Feder-Masse-Systeme, um die entsprechende Resonanzfrequenz zu erreichen. Solche Eigenschaften weisen Stimmgabeln auf.

Ihre Grundfrequenz errechnet man aus der Beziehung

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- f Grundfrequenz
- l Länge der Stimmgabelenden
- E Elastizitätsmodul des Stimmgabelwerkstoffs
- ρ Dichte des Stimmgabelwerkstoffs.

**Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch,
welches Sie hier erwerben können:**

Alle tonfrequenten Schwingeranordnungen sind zweiteilige Schwinger. Jede Schwingerhälfte stellt einen selbständigen Schwinger dar.

Beide Systeme arbeiten gegenphasig, dabei sind die Amplituden der Schwingerhälften in jedem Schwingungs Augenblick entgegengesetzt gleich groß (Bild 3.45).

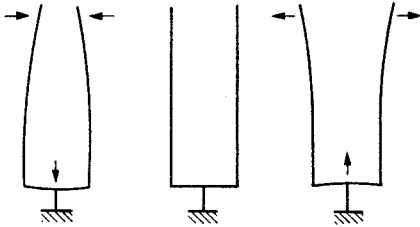


Bild 3.45. Schwingungsphasen eines Stimmgabelschwingers

Durch diese Eigenschaft der Schwinger entsteht ein Punkt am System, der auf Grund der gegeneinander wirkenden Kräfte und Momente nahezu in Ruhe bleibt. Dieser Punkt wird als Befestigungspunkt gewählt.

Zur Anregung der Schwinger muß den Stimmgabelenden mechanische Energie zugeführt werden. Diese Energiezufuhr erfolgt durch Dauermagnete an den Stimmgabelenden.

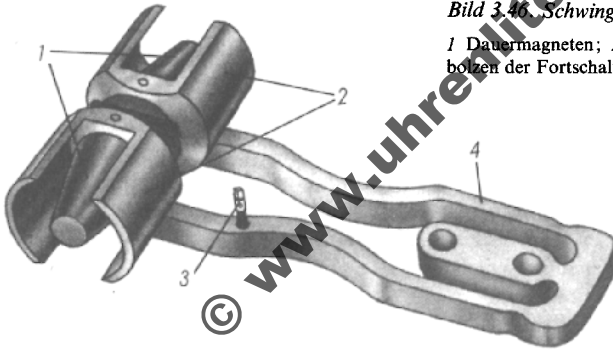


Bild 3.46. Schwinger einer Stimmgabeluhr

1 Dauermagneten; 2 becherförmiges Joch; 3 Lagerbolzen der Fortschaltklinke; 4 Stimmgabel

Die Dauermagnete werden durch die im Rhythmus der Eigenfrequenz der Stimmgabel schwingenden Magnetfelder der Arbeitsspulen angestoßen und halten deren Schwingfrequenz aufrecht. Die praktische Ausführung einer Stimmgabel für Armbanduhren ist im Bild 3.46 dargestellt.

Die kegelförmigen Antriebsmagnete ragen in die ebenso geformten Antriebspulen, von denen eine der beiden Spulen die Steuerspule enthält. Bild 3.47 zeigt die Schaltung einer Armbanduhr mit Stimmgabelschwinger. Die Grundfunktion der Schaltung gleicht der unter 3.3.1. beschriebenen Zweispulenantriebsschaltung. Die Antriebspulen sind in zwei Teilsysteme aufgliedert. Die Gesamtfunktion der Schaltung ändert sich dadurch nicht. Im Gegensatz zu den einfachen Transistorschaltungen nach 3.3.1. schwingt die Schaltung von selbst an. Durch Anlegen der Betriebsspannung lädt sich der Ladekondensator auf. Durch den Vorwiderstand findet ein Ladungsausgleich statt, der Ursache für

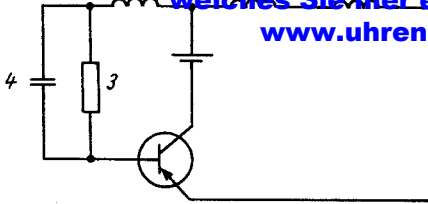


Bild 3.47. Schaltung einer Armbanduhr mit tonfrequentem Zeitnormal

1 Steuerspule; 2 Arbeitsspulen; 3 Vorwiderstand; 4 Ladekondensator

einen kurzen Öffnungsimpuls des Transistors ist. Der fließende Antriebsstrom induziert in der Steuerspule eine Spannung, die den Transistor weiter öffnet. Dabei wird der Transistor bis zum Sättigungsstrom durchgesteuert. Es wird keine Spannung mehr in der Steuerspule induziert, und der Transistor wird gesperrt. Dieser Vorgang wiederholt sich ständig. Es entsteht eine Schwingung, die wegen ihrer Entstehungsart — Sperren—Öffnen —Sperren — usw. als Sperrschwingung bezeichnet wird. Diese Schwingung wird durch den mitschwingenden Arbeitsmagneten dann unterdrückt, wenn die entsprechend große Antriebsschwingung eine Steuerspannung erzeugt, die den Transistor in den sicheren Schalterbetrieb steuert. Für tonfrequente Schwinger eignen sich auch Einspulenantriebs-schaltungen nach 3.3.1.

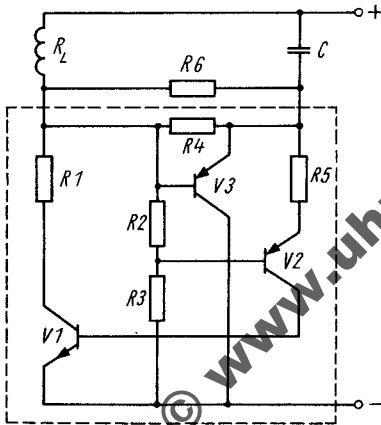


Bild 3.48. Integrierte Schaltung einer elektronischen Armbanduhr mit tonfrequentem Schwinger

Eine Schaltung zum Antrieb einer Stimmgabeluhr in integrierter Ausführung zeigt Bild 3.48. Der Widerstand R_6 hat die Aufgabe, die Impulsdauer an die Schwingbedingungen der Stimmgabel anzupassen. Die Funktion der Schaltung gleicht im Prinzip der Schaltungsbeschreibung nach Bild 3.43.

3.3.3. Piezoelektrische Schwinger

Schwinger, deren Nennfrequenz zwischen 8192 Hz und 4,19 MHz liegen, bezeichnet man als hochfrequente Schwinger.

Ihre Amplituden sind so klein, daß eine direkte mechanische Umwandlung in eine Drehbewegung nicht möglich ist. Hochfrequente Schwinger für Uhren werden aus piezo-

Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch, welches Sie hier erwerben können: www.uhrenliteratur.de
elektrischem Werkstoff hergestellt. Solche piezoelektrischen Werkstoffe sind: Seignettesalz, Bleizirkonat, Bleititanat, Bariumtitanat, Lithium, Turmalin, Quarz.

Diese Werkstoffe haben kristalline Strukturen. Schneiden man aus diesen Kristallen in bestimmten Richtungen dünne Platten aus, deren Oberflächen zueinander parallel verlaufen, so treten beim Anlegen einer Druck- oder Biegekraft auf diesen Oberflächen elektrische Potentiale auf. Man bezeichnet diese Erscheinung als piezoelektrischen Effekt. Der piezoelektrische Effekt ist umkehrbar.

Metallisiert man die Oberfläche eines Piezokristallplättchens und legt an sie eine Wechselspannung, so biegen sie sich in Abhängigkeit von der Anregungsfrequenz der Wechselspannung durch und schwingen in dieser Frequenz dann, wenn diese genügend genau mit der Resonanzfrequenz des Kristalls übereinstimmt. Decken sich Resonanz- und Anregungsfrequenz, so ist die notwendige Energie, um die Schwingung aufrechtzuerhalten, am kleinsten. Der Schwinger hat in diesem Bereich seine größte Amplitude und seine geringste Dämpfung. Man bezeichnet den Widerstand, den der Schwinger im Resonanzbereich der Anregungsenergie entgegensetzt, als Resonanzwiderstand. Je geringer der Resonanzwiderstand eines piezoelektrischen Schwingers ist, um so größer ist seine Güte. Wie alle Schwinger, haben auch piezoelektrische Schwinger eine temperaturabhängige Resonanzfrequenz. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Temperaturkoeffizient der Frequenz. Ein Schwinger ist um so besser, je geringer dieser Temperaturkoeffizient ist. Das Temperaturverhalten eines Schwingers wird durch die Größe ausgedrückt:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right) \vartheta = K$$

Δf Frequenzabweichung
 f Nennfrequenz
 ϑ Temperatur.

Die Abweichung des Schwingers von der Sollfrequenz folgt einer mathematischen Kurve und wird durch die zu ihr gehörende mathematische Funktion ausgedrückt. Sie wird vom Schwingerwerkstoff, von der Art des Schwingers, der Lage der Schnitttrichtung, in der das Kristallplättchen aus dem Kristall herausgetrennt wurde, und von der Aufhängung des Schwingers bestimmt.

Schwingergüte, Temperaturverhalten und zeitliche Konstanz der Schwingereigenschaften bestimmen die Brauchbarkeit eines piezoelektrischen Werkstoffs als Zeitnormal für Uhren. In bezug auf diese Forderungen hat der Quarz die besten Eigenschaften und erreicht die höchsten Gütewerte aller bekannten piezoelektrischen Werkstoffe.

Quarزشwinger

Piezoelektrische Schwinger, deren Basiswerkstoff Quarz ist, werden als Quarزشwinger bezeichnet.

Ihre Eigenschaften in bezug auf die Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz, den Frequenzbereich und die Güte sind unterschiedlich. Sie hängen von der Art der Schwingung, der Richtung des Quarzschnitts und dem Aufbau des Quarزشwingers ab.

Bild 3.49 zeigt einen Quarzkristall mit den möglichen Richtungen und Formen, in denen Quarzplättchen aus dem Quarzkristall herausgeschnitten werden können. Um die Art der Plättchen zu systematisieren, bezieht man alle Schnitttrichtungen auf die Kristallachse, weil diese bei der Herstellung der Quarزشwinger zuerst bestimmt wird.

Entsprechend dieser Systematik unterscheidet man die Schnitte nach Tafel 3.6.

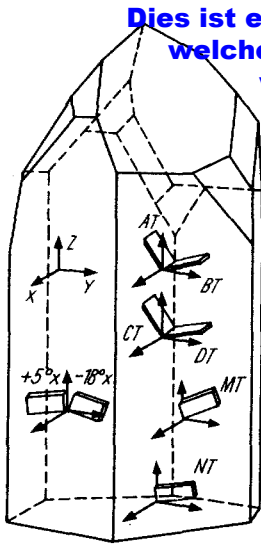


Bild 3.49. Quarzkristall

Tafel 3.6. Quarzschnitte, Schwingungsarten und Frequenzbereiche

Quarzschnitt	Schwingungsart	Frequenzbereich bis
X, NT	Biegeschwinger	100 kHz
X, MT	Längsschwinger	200 kHz
DT	Flächenschwinger	250 kHz
CT	Flächenschwinger	600 kHz
AT	Dickenschwinger	150 MHz
BT	Dickenschwinger	30 MHz

Für Quarzuhren sind zwei Quarzschnitte besonders geeignet:

- X_{+5° -Schnitt
- AT-Schnitt.

Für Armbanduhren verwendet man den X_{+5° -Schnitt, um Biegeschwinger mit einer Nennfrequenz von 32768 Hz herzustellen, während für Wohnraumuhren und Wecker der AT-Schnitt zum Herstellen von Quarzen mit einer Nennfrequenz von 4,19 Hz eingesetzt wird.

Für synchronisierte Drehschwinger oder Stimmgabeluhren werden andere Frequenzen verwendet. Sie sind in bezug auf die Menge der produzierten Quarze mit den Standardfrequenzen 32768 Hz und 4,19 MHz unbedeutend. Bild 3.50 zeigt die Schwingungsart eines Quarzbiegeschwingers und eines Dickenschwingers für Quarzuhren. Im Bild 3.51 wird die Temperaturunabhängigkeit eines Biegeschwingers und eines Dickenschwingers gezeigt.