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

Elektrische und elektronische Uhren

Dipl.-Ing. Günter Krug

4., durchgesehene Auflage

© www.uhrenliteratur.de

Reprint
Verlag Historische Uhrenbücher
Berlin 2017

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

Hinweis:

Dieses Buch ist im Jahr 1987 in vierter Auflage im *VEB Verlag Technik, Berlin* erschienen (ISBN 3-341-00190-5). Es war seit 1984 durch das *Ministerium für Elektrotechnik und Elektronik* in der damaligen *DDR* für die Ausbildung von Lehrlingen und Werktätigen zum Facharbeiter für verbindlich erklärt.

© www.uhrenliteratur.de

Haftungsausschluss
Die in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen erstellt und mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch sind, wie wir im Sinne des Produkthaftungsrechts betonen müssen, inhaltliche Fehler nicht mit letzter Gewissheit auszuschließen. Daher erfolgen alle Angaben ohne jede Verpflichtung oder Garantie des Herausgebers bzw. des Verlages. Beide übernehmen keinerlei Verantwortung bzw. Haftung für mögliche Unstimmigkeiten. Der Sprachgebrauch und der Normen- und Technologiestand entspricht in etwa dem Jahr 1984 in der damaligen DDR.

Verlag Verlag Historische Uhrenbücher
Florian Stern, Berlin 2017
www.uhrenliteratur.de
service@uhrenliteratur.de

Druck: SDL, Berlin

ISBN 978-3-939315-46-9

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

Vorwort

Seit die Menschen sich bemühen, die Zeit zu messen, wollen sie das möglichst genau tun. Ursprünglich dienten stets wiederkehrende astronomische Vorgänge der Zeitbestimmung, und sie sind auch heute noch deren Grundlage. Große schöpferische und handwerkliche Leistungen waren notwendig, um die dafür erforderlichen Geräte zu schaffen. Mit der Entwicklung von Wissenschaft und Technik wuchsen die Anforderungen an die Genauigkeit der Zeitmessung. Die mechanischen Uhren — sie hatten auf dem Höhepunkt ihrer Entwicklung eine Ganggenauigkeit erreicht, die den Meistern ein bleibendes Ansehen in der Technikgeschichte sichert — werden von den noch genauer arbeitenden elektrischen und elektronischen Uhren verdrängt.

Dieser Entwicklung folgend änderte sich in den letzten Jahren das Berufsbild des Uhrmachers, und neue berufstheoretische und berufspraktische Anforderungen entstanden. Die neue Generation von Uhren erfordert neben den handwerklichen Fertigkeiten ein spezielles theoretisches Wissen für die Funktionsprüfung, Reparatur, Regulierung und Kundenberatung.

Das Buch „Elektrische und elektronische Uhren" will dem Lernenden und Interessierten ein Gehilfe und Berater sein; es wird dem Neuen unter den Uhrmachern das für seine Arbeit erforderliche Wissen vermitteln sowie den im Beruf stehenden erfahrenen Uhrmacher in die relativ neuen Gebiete der Uhrentechnik einführen und die Umstellung von der mechanischen auf die elektrische und elektronische Uhr erleichtern.

Der Autor geht in seinem Buch von den elektrotechnischen Grundlagen aus, behandelt dann die Bauelemente und Baugruppen der Uhren, deren Wirkungsweise und Zusammenwirken. Er macht gleichzeitig mit den zum Verständnis von Aufbau und Wirkungsweise erforderlichen Schaltbildern bekannt, die wegen ihres Symbolgehalts von der Darstellungsweise mechanischer Teile abweichen. Uhrentechnische Prüf- und Abgleichmittel, die für die Reparatur der Uhren einzusetzen sind, werden beschrieben. Den Abschluß bilden Hinweise für das Instandsetzen von Uhren, die ein folgerichtiges Vorgehen bei der Fehlersuche sichern sollen.

Bei der Bearbeitung der 3. Auflage erfolgte eine Aktualisierung des Inhalts, so daß für die 4. Auflage eine Durchsicht genügte.

Möge das Buch allen Lesern eine angenehme, bildende, aber nicht langweilig belehrende Lektüre sein.

VEB Verlag Technik

© www.uhrenliteratur.de

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

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 Speicherelement	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

© www.uhrenliteratur.de

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

© www.uhrenliteratur.de

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

5.3. Programmgebereinrichtungen ... 169
5.4. Regenerieranlagen 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

© www.uhrenliteratur.de

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

ein großer Antriebsimpuls und bei großer Steuerspannung ein kleiner Antriebsimpuls folgt.

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.

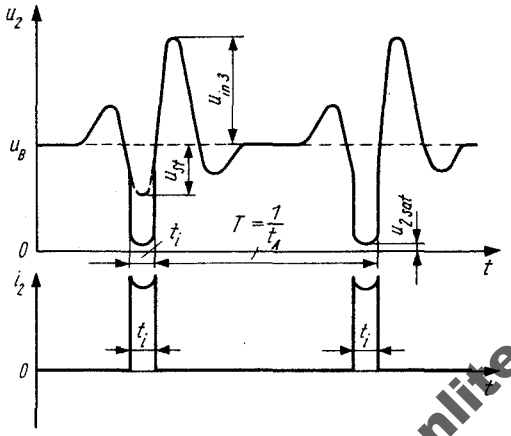


Bild 3.44. Impulsbild einer Stabilisierungsschaltung

U_S Steuerspannung; $V_{in\,3}$ induzierte Spannung durch Magneten; $U_{2\,sat}$ 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 Spannungsstabilisierung.

© www.uhrenliteratur.de

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:
www.uhrenliteratur.de

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 Schwingungsaugenblick entgegengesetzt gleich groß (Bild 3.45).

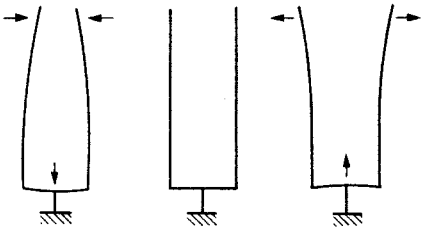


Bild 3.45. Schwingungsphasen eines Stimmgabelschwingers

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.

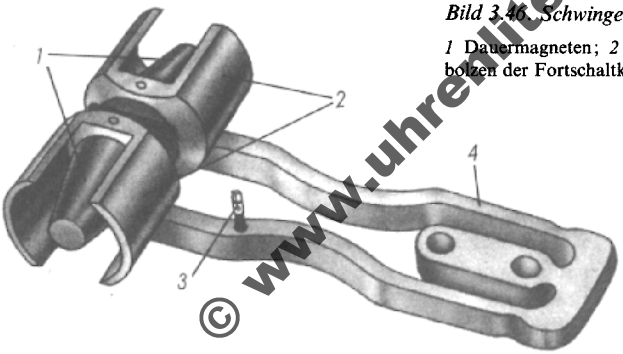


Bild 3.46. Schwinger einer Stimmgabeluhr

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

© www.uhrenliteratur.de

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 Antriebsspulen, 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 Antriebsspulen sind in zwei Teilsysteme aufgegliedert. 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

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

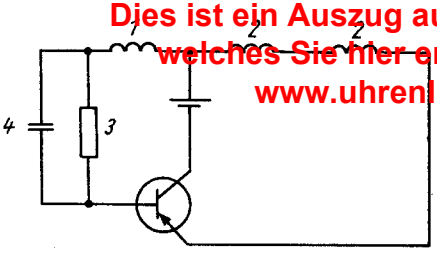


Bild 3.47. Schaltung einer Armbanduhr mit tonfrequentem Zeitnormal

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 Einspulenantriebsschaltungen nach 3.3.1.

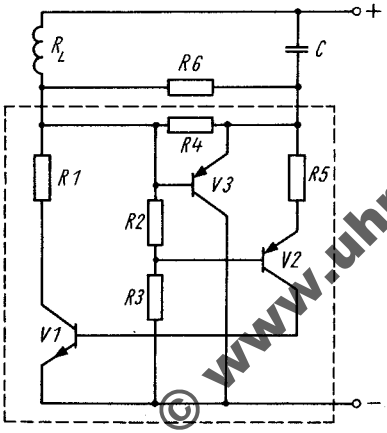


Bild 3.48. Integrierte Schaltung einer elektronischen Armbanduhr mit tonfrequentem Schwinger

© www.uhrenliteratur.de

Eine Schaltung zum Antrieb einer Stimmgabeluhr in integrierter Ausführung zeigt Bild 3.48. Der Widerstand *R6* 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, Bariumtitanat, Turmalin, Quarz.

Diese Werkstoffe haben kristalline Strukturen. Schneidet 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 Schnittrichtung, 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.

© www.uhrenliteratur.de

Quarzschwinger

Piezoelektrische Schwinger, deren Basiswerkstoff Quarz ist, werden als Quarzschwinger 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 Quarzschwingers 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 Schnittrichtungen auf die Kristallachse, weil diese bei der Herstellung der Quarzschwinger zuerst bestimmt wird.

Entsprechend dieser Systematik unterscheidet man die Schnitte nach Tafel 3.6.

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

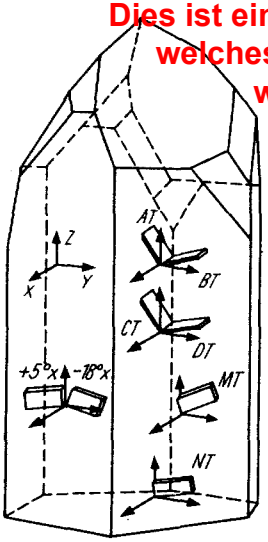


Bild 3.49. Quarzkristall

Tafel 3.6. Quarzschnitte, Schwingungsarten und Frequenzbereiche

Quarzschnitt	Schwingungsart	Frequenzbereich bis
X, NT	Biegungsschwinger	100 kHz
X, MT	Längsschwinger	200 kHz
DT	Flächenscherungs-schwinger	250 kHz
CT	Flächenscherungs-schwinger	600 kHz
AT	Dickenscherungs-schwinger	150 MHz
BT	Dickenscherungs-schwinger	30 MHz

© www.uhrenliteratur.de

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 Dickenscherungsschwingers für Quarzuhren. Im Bild 3.51 wird die Temperaturunabhängigkeit eines Biegeschwingers und eines Dickenscherungsschwingers gezeigt.