

Elektrische und elektronische Uhren

Elektrische und elektronische Uhren

Dipl.-Ing. Günter Krug

4., durchgesehene Auflage



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Als berufsbildende Literatur für die Ausbildung von Lehrlingen und Werktägigen zum Facharbeiter für verbindlich erklärt

Ministerium für Elektrotechnik
und Elektronik

1. September 1984

Krug, Günter:
Elektrische und elektronische Uhren / Günter Krug.
— 4., durchges. Aufl. — Berlin: Verl. Technik,
1987. — 208 S. : 233 Bilder, 22 Taf.
ISBN 3-341-00190-5

ISBN 3-341-00190-5

4., durchgesehene Auflage
© VEB Verlag Technik, Berlin, 1987
Lizenz 201 · 370/179/87

Printed in the German Democratic Republic
Satz und Druck : Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza
Lektor: Oberlehrer Dipl.-Gwl. Alfred Jahn

Einband: Kurt Beckert
LSV 3572 · VT 5/5440-4
Bestellnummer: 552 871 4
00765

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 Uhrentchnik 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

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

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.	Programmierereinrichtungen 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.	Programmgebereinrichtungen	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 Quarzuhrn	201
9.4.	Instandsetzen von Uhrenanlagen	202
9.5.	Instandsetzen von Signaleinrichtungen	202
	Sachwörterverzeichnis	204

0. Einleitung

Mechanische Uhren sind mit einer Antriebsfeder als Energiespender ausgerüstet. Die Antriebsfeder ist im allgemeinen eine spiralförmig gewundene Biegefeder mit rechteckigem Querschnitt. Ihr Energieinhalt bestimmt die Gangdauer eines mechanischen Uhrwerks. Mit zunehmender Entspannung der Antriebsfeder nimmt die Antriebsenergie ab. Dadurch verändert sich der Gang der Uhr, ihre Gangleistung läßt nach.

Um den Gang der Uhr aufrechtzuerhalten, muß der Antriebsfeder durch Aufwinden erneut Energie zugeführt werden.

Mechanische Uhren sind damit nicht wartungsfrei, sie müssen entweder täglich oder wöchentlich „bedient“ werden.

Durch Nutzung der elektrischen Energie ist es wie bei anderen Geräten möglich, elektrische oder elektronische Uhren dauernd oder für eine sehr lange Zeit in Betrieb zu halten, ohne daß ein „Bedienen“ notwendig ist.

Wird die elektrische Energie dem öffentlichen Netz entnommen, so hängt die Betriebsdauer der elektrischen Uhr primär nur von ihrer Lebensdauer ab. Da öffentliche Netze der Energieversorgung heute grundsätzlich Wechselstrom führen, ist es möglich, die Netzfrequenz von 50 Hz als Zeitnormal zu verwenden, wenn ihre Genauigkeit besser als die mechanischer Swinger ist. Bei stark belasteten Netzen schwankt die Netzfrequenz um 1% ihres Sollwertes. Sie ist in diesem Fall für die Zeitmessung nicht geeignet.

Netzbetriebene Uhren setzen immer die Nähe einer Steckdose für ihren Aufstellungs-ort voraus. Sie sind ortsabhängig. Ortsunabhängige Uhren lassen sich durch elektrische Primärelemente als Energiequelle aufbauen. Ihre Gangdauer ist durch den Energieinhalt der Spannungsquelle begrenzt. Sie erreichen eine mittlere Funktionsdauer von 2 Jahren. Aus diesem Grund kann die Gangdauer einer elektrischen Uhr im Mittel nicht länger als 2 Jahre sein.

Für elektrische oder elektronische Uhren ist es vom prinzipiellen Aufbau her gleichgültig, ob die Energie einem öffentlichen Versorgungsnetz oder einem Primärem-ment entnommen wird.

Elektrische Uhren sind Uhrwerke oder zeitanzeigende Anordnungen, deren Antriebsenergie einer elektrischen Spannungsquelle entnommen wird.

Nach dieser Feststellung gehören elektronische Uhren zur Gruppe der elektrischen Uhren, da ihre Energie einer elektrischen Spannungsquelle entnommen wird.

Zur besseren Übersicht ist es zweckmäßig, diese Gruppe zu unterteilen:

- Elektrische Uhren mit Kontaktanordnungen zur Steuerung der Zeitanzeige.
- Elektronische Uhren mit Halbleiterbauelementen zur Steuerung der Zeitanzeige.

1. Einteilung elektrischer und elektronischer Uhren

Es ist üblich, elektrische und elektronische Uhren nach der Art und Steuerung ihres Antriebs zu gliedern. Die Art der Gliederung erfordert die Zuordnung bestimmter Wirkprinzipien zu einer bestimmten Uhrenart, obwohl sie der Definition entsprechend deren Bedingungen nicht restlos erfüllt. Solche Zuordnungen bilden die Ausnahmeloösung der entsprechenden Uhrenart. Eine mögliche Einteilung elektrischer Uhren ist in Tafel 1.1 zusammengestellt.

Tafel 1.1. Einteilung der Uhren

Elektrische Uhren	indirekt angetriebene elektrische Uhren	mit Motoraufzug mit Elektromagnetaufzug mit Konstantimpulsantrieb
	direkt angetriebene elektrische Uhren	mit kontaktgesteuertem Pendel mit kontaktgesteuertem Drehschwinger
Elektronische Uhren	Uhren mit zentralem Zeitnormal	Uhrenanlage mit kontaktgesteuertem Pendel Netzfrequenz als Zeitnormal für Synchronuhren Quarzfrequenz als Zeitnormal für funkfernsteuerte Uhren Atomuhr als Zeitnormal für funkfernsteuerte Uhren
	synchronisierte elektronische Uhren	addierend synchronisiert subtrahierend synchronisiert
	elektronische Uhren mit direktem Antrieb	mit Drehschwinger oder Pendel mit tonfrequentem Zeitnormal
	mit hochfrequentem Zeitnormal	elektromechanische Quarzuhren vollelektronische Quarzuhren

2. Elektrische Uhren

2.1. Physikalische Grundlagen

2.1.1. Strom, Spannung, Widerstand

Elektrischer Strom

Die Bewegung elektrischer Ladungen wird als elektrischer Strom bezeichnet. Die Stromrichtung ist der Elektronenbewegung entgegengesetzt. Nach einer Festlegung fließt der Strom vom positiven zum negativen Pol.

Die elektrische Energie entsteht durch Umwandlung anderer Energieformen, z. B. chemischer, mechanischer, thermischer oder nuklearer Energie.

Erfolgt der Stromfluß stets in einer Richtung und mit konstanter Größe, so bezeichnet man ihn als Gleichstrom.

Elektrischer Strom, der seine Größe und Richtung periodisch ändert, wird als Wechselstrom bezeichnet.

Elektrische Stromstärke

Unter Stromstärke versteht man die Ladungsmenge, die in einer Zeiteinheit durch einen Leiterquerschnitt fließt.

Die Einheit der Stromstärke I ist das Ampere A.

Elektrische Spannung

Ursache für das Fließen eines elektrischen Stroms in einem geschlossenen elektrischen Stromkreis ist die in der Spannungsquelle erzeugte Urspannung, von der jedoch zwischen zwei beliebigen Punkten des Stromkreises nur ein Teil wirksam wird. Dieser Teil wird als Spannung bezeichnet.

Die Einheit der elektrischen Spannung U ist das Volt V.

Ohmscher Widerstand

Elektrische Leiter setzen dem Fließen eines Stroms einen Widerstand entgegen. Die Größe dieses Widerstands hängt vom Werkstoff, von der Leiterlänge und dessen Querschnitt ab. Diese führen zu einer Umwandlung elektrischer Energie in thermische Energie.

Die Einheit des ohmschen Widerstands R ist das Ohm Ω .

Ohmsches Gesetz

In jedem Stromkreis stehen Strom, Spannung und Widerstand in einem gesetzmäßigen Zusammenhang. Dieser wird als Ohmsches Gesetz bezeichnet:

$$U = RI.$$

Elektrische Grundgrößen bei Gleich- oder Wechselstrom

Gleichstrom zeichnet sich durch eine Bewegung der Ladungsträger in stets gleichbleibender Richtung aus. Seine Grundgrößen werden durch die Symbole

U Spannung

I Strom

R Widerstand

beschrieben.

Wechselstrom ist ein Strom, bei dem sich Größe und Richtung periodisch ändern. Zeitabhängige Größen werden dabei als Kleinbuchstaben geschrieben.

Nach ihrer Entstehungsursache beschreibt man Wechselstrom und Wechselspannung in Abhängigkeit vom Drehwinkel einer rotierenden Leiterschleife in einem konstanten Magnetfeld.

Danach ist die Größe des elektrischen Wechselstroms:

$$i = I_{\max} \sin \omega t$$

und die Größe der elektrischen Wechselspannung:

$$u = U_{\max} \sin \omega t$$

I_{\max} Höchstwert des Stroms

U_{\max} Höchstwert der Spannung.

Beide werden auch als Scheitelwerte der elektrischen Grundgrößen des Wechselstromkreises bezeichnet (Bild 2.1).

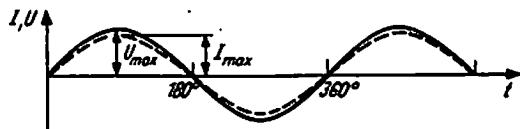


Bild 2.1. Grundgrößen des Wechselstroms

$$u = U_{\max} \sin \omega t$$

$$i = I_{\max} \sin \omega t$$

Die Größe ωt ist ein Winkel, der sich aus dem Produkt Kreisfrequenz ω der Leiterschleife im konstanten Magnetfeld und der Zeit t ergibt. Es gilt:

$$\omega = 2\pi f$$

Für die Leistungsberechnung und für das Messen mit elektrischen Meßgeräten sind die Effektivwerte von Bedeutung:

Wechselstrom:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Wechselspannung:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Liegen rein ohmsche Widerstände vor, gilt für einen Widerstand im Wechselstromkreis:

$$R = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}$$

2.1.2. Messen der elektrischen Größen

Strommesser

Zum Messen des elektrischen Stroms werden seine Wirkungen im elektrischen Kreis genutzt.

Am häufigsten wird die Umsetzung elektrischer Energie in mechanische Energie zur Anzeige der Stromgröße verwendet. Der Meßvorgang erfolgt darum nicht leistungslos. Strommesser, deren Anzeige auf der Anziehungs- oder Abstoßungskraft eines stromdurchflossenen Leiters auf einen Weicheisenanker beruht, werden als Dreheisenmeßwerke bezeichnet. Ihr Leistungsbedarf ist groß; ihre Skalenteilung quadratisch. Sie haben einen geringen Innenwiderstand und belasten das Meßobjekt stark. Für die Schwachstromtechnik sind sie nicht geeignet, lassen sich jedoch für Kontrollmessungen an Batterien für Uhrenanlagen einsetzen. Wegen ihres Aufbaus sind sie zum Messen von Gleich- und Wechselströmen verwendbar (Bild 2.2).

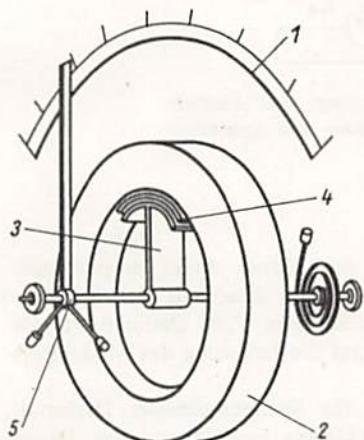


Bild 2.2. Dreheisenmeßwerk

1 Skale; 2 Spule; 3 drehbares Weicheisenstück; 4 feststehendes Weicheisenstück; 5 Zeiger mit Ausgleichsgewichten

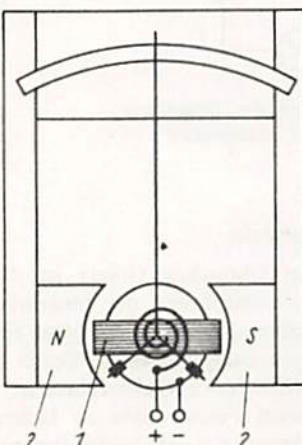


Bild 2.3. Drehspulmeßwerk

1 Drehspule; 2 Dauermagnet

Strommesser, die die Größe der Abstoßung eines stromdurchflossenen Leiters in einem konstanten Magnetfeld anzeigen, bezeichnet man als Drehspulmeßwerke.

Bei diesen Meßwerken ist die Leiterschleife als Drehspule ausgeführt, die einen Zeiger trägt (Bild 2.3). Sie benötigen nur wenige μA zur Auslenkung der Spule. Sie haben einen großen Innenwiderstand. Wegen ihres Wirkprinzips kann man mit ihnen ohne zusätzliche Mittel nur Gleichströme anzeigen.

Drehspulmeßwerke haben wegen ihrer hohen Empfindlichkeit die größte praktische Bedeutung für Messungen an elektrischen Uhren.

Strommessung

Zur Strommessung muß der Strommesser direkt in den Stromkreis geschaltet werden (Bild 2.4). Ist der zu messende Strom größer als der maximal zulässige Meßstrom des Meßinstrumentes, so kann durch entsprechende Parallelwiderstände zum Meßinstrument (Shunts) der Meßstrom geteilt und sein überschüssiger Anteil am Meßinstrument vorbeigeführt werden. Nach diesem Prinzip arbeiten Vielfachmesser bei der Strommessung (Bild 2.5).

Da die Größe des zu messenden Stroms meist unbekannt ist, schaltet man stets vom großen Meßbereich auf den kleineren.

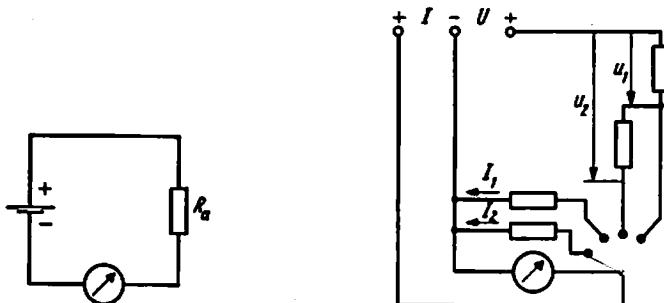


Bild 2.4. In den Stromkreis geschalteter Strommesser

Bild 2.5. Schaltung eines Vielfachmessers zur Strom- und Spannungsmessung

Spannungsmesser

Nach dem Ohmschen Gesetz ist die Spannung dem Strom direkt proportional. Weil bei Strommessern der Innenwiderstand konstant ist, lassen sie sich auch als Spannungsmesser verwenden. Man eicht dazu ihre Skale in Volt. Dadurch ist jede Spannungsmessung mit einem Fehler behaftet, der auf die Belastung des Meßobjekts mit dem Meßstrom zurückzuführen ist.

Um diesen Fehler klein zu halten, setzt man für Spannungsmesser Drehspulmeßinstrumente mit sehr hohem Innenwiderstand ($20\text{ k}\Omega$) ein; Spannungsmesser, die auf diesem Prinzip aufgebaut sind, können ohne zusätzliche Maßnahmen nur zum Messen von Gleichspannungen eingesetzt werden.

Zum Messen von Wechselspannungen sind Meßgleichrichter erforderlich. Werden Meßgleichrichter verwendet, so muß die Skale des Meßinstruments in Effektivwerten geeicht sein.

Spannungsmessung

Bei Spannungsmessungen wird der Spannungsmesser stets parallel zum Meßobjekt geschaltet (Bild 2.6). Die mit dem Spannungsmesser gemessene Spannung entspricht dem Spannungsabfall über dem Meßobjekt.

Um eine hohe Meßgenauigkeit zu erhalten, muß der Innenwiderstand des Spannungsmessers wesentlich größer sein als der Widerstand des Meßobjekts.

Ist die zu messende Spannung größer als die maximal zulässige Meßspannung, kann der Meßbereich durch Vorschalten von Widerständen erweitert werden. Dabei fällt die überschüssige Spannung über dem Vorwiderstand ab. Bei Vielfachmessern

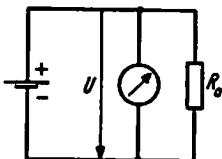


Bild 2.6. Schalten eines Vielfachmessers zur Spannungsmessung

sind diese Widerstände den Meßbereichen zugeordnet und werden durch einen Wahlschalter zugeschaltet (Bild 2.5).

Da bei Spannungsmessungen die zu messende Spannung meist unbekannt ist, schaltet man vom höchsten Meßbereich auf den nächstniedrigeren, um Schäden am Meßinstrument zu vermeiden.

Widerstandsmesser

Nach dem Ohmschen Gesetz ist der Strom dem ohmschen Widerstand indirekt proportional. Versorgt man einen Stromkreis mit konstanter Spannung und schaltet die unbekannten Widerstände in den Stromkreis ein, zeigt ein Strommesser äquivalente Ströme an. Eicht man die Skale des Strommessers in Ohm, erhält man einen Widerstandsmesser (Bild 2.7).

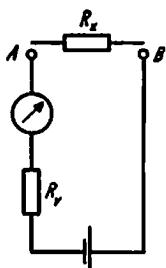


Bild 2.7. Schaltung eines Widerstandsmessers

Widerstandsmesser sind in Ohm geeichte Strommesser mit eingebauter Spannungsquelle. Sie zeigen bei Vollausschlag des Zeigers den kleinsten Widerstandswert an. Ihre Genauigkeit hängt vom Entladestand der Spannungsquelle ab. Ändert sich der Entladestand der Spannungsquelle, muß die Anzeige mittels eingebautem Einstellwiderstand korrigiert werden.

Genaue Widerstandsmessungen sind mit der Wheatstoneschen Brücke (Bild 2.8) möglich. Die Genauigkeit der Widerstandsbestimmung ist bei diesem Meßinstrument nicht vom Entladestand der Spannungsquelle abhängig. Die „Brückenschaltung“ besteht aus einem Strommesser mit einem in der Mitte liegenden Nullpunkt und zwei Brückenzweigen. Ein Brückenzweig besteht aus einem Vergleichswiderstand R_n und einem Teil R_1 eines veränderbaren Widerstands.

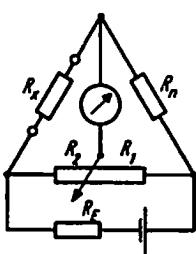


Bild 2.8. Schaltung einer Wheatstoneschen Brücke

Der zweite Brückenzweig besteht aus dem zu messenden Widerstand mit unbekanntem Wert R_x und dem Teil $R 2$ des veränderbaren Widerstands. Durch Verändern des Widerstands $R 1-R 2$ wird die Brücke so abgeglichen, daß

$$\frac{R_x}{R 2} = \frac{R_n}{R 1}$$

ist.

Das ist der Fall, wenn der über den Strommesser fließende Strom Null ist. Da für R_x der Quotient $R 2/R 1$ maßgebend ist, kann man am veränderbaren Widerstand eine Skale anbringen und den Widerstandswert direkt ablesen.

Widerstandsbestimmung

Unbekannte Widerstände müssen zur Bestimmung ihrer Werte aus dem Stromkreis entnommen und mit dem Widerstandsmesser gemessen werden.

2.1.3. Magnetisches Feld

Fließt durch einen elektrischen Leiter ein Strom, so bildet sich um diesen ein magnetisches Feld aus. Dieses Feld verläuft kreisförmig mit rechtsgängigem Umlaufsinn, wenn man in Richtung des fließenden Stroms blickt. Es ist durch ferromagnetische Körper oder durch eine Magnetnadel nachweisbar (Bild 2.9).

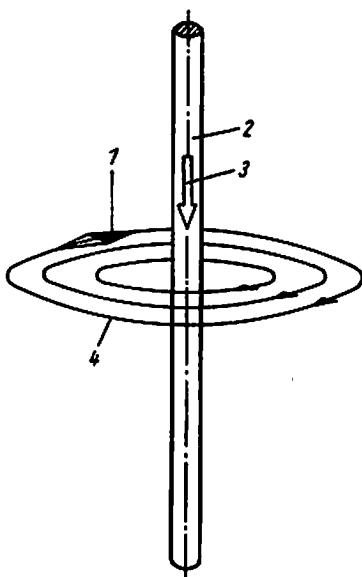


Bild 2.9. Nachweis des magnetischen Feldes um einen elektrischen Leiter

1 Magnetnadel; 2 Leiter; 3 Strom; 4 magnetische Feldlinien

Magnetische Feldstärke

Die Kraft, mit der ein magnetischer Körper in die Richtung des magnetischen Feldes gezwungen wird, ist der magnetischen Feldstärke H proportional. Sie wird in A/m angegeben. Für die magnetische Feldstärke eines geraden, stromdurchflossenen Leiters gilt:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

- H magnetische Feldstärke
 I Stromstärke im Leiter
 r Abstand der Feldlinie vom elektrischen Leiter.

Sie nimmt mit größer werdendem Abstand vom Leiter ab. Ihr Nachweis erfolgt mit einem Feldstärkemesser (Bild 2.10).

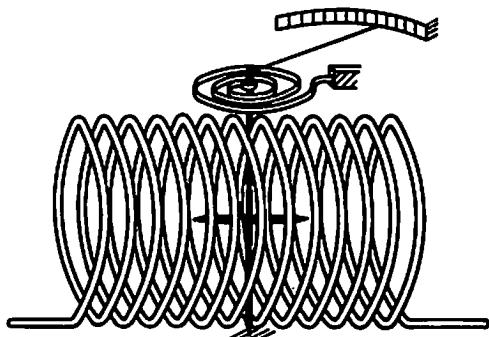


Bild 2.10. Nachweis des magnetischen Feldes mit einem Feldstärkemesser

Magnetische Flußdichte (Induktion)

Die Dichte der magnetischen Feldlinien wird als magnetische Flußdichte B oder Induktion bezeichnet. Sie gibt an, in welchem Maße ein in das magnetische Feld eingebrachter Werkstoff eine Änderung der magnetischen Wirkungen hervorruft. Durch nichtmagnetische Stoffe wird die magnetische Wirkung nur wenig verändert (dia- oder paramagnetische Stoffe). Ferromagnetische Stoffe wie Eisen und Nickel verursachen nichtproportionale Veränderungen durch ihre eigene Magnetisierung.

Die Einheit der magnetischen Flußdichte ist das Tesla T.

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$$

Im Vakuum sind magnetische Feldstärke und magnetische Flußdichte einander proportional:

$$B = \mu_0 H (\text{Vs/m}^2)$$

Induktionskonstante $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$.

Magnetischer Fluß

Die magnetische Feldstärke von Spulen ist von der Anzahl der Spulenwindungen abhängig:

$$H = \frac{IN}{l}$$

- N Windungszahl
 l Spulenlänge.

Die magnetischen Feldlinien sind in der Spule homogen verteilt. Fließt der Strom im Uhrzeigersinn durch eine Spule, dann schaut man auf den Südpol des Elektromagneten; fließt er entgegen dem Uhrzeigersinn, schaut man auf den Nordpol. Wegen

der homogenen Feldverteilung im Spuleninneren hat die magnetische Flußdichte an jedem Punkt des Feldes den gleichen Wert. Man bezeichnet die über den Spulenquerschnitt verteilten magnetischen Feldlinien auch als magnetischen Fluß:

$$\Phi = BA$$

$$\Phi = \mu_0 HA.$$

Die Einheit des magnetischen Flusses Φ ist das Weber Wb. Auch die Einheit Volt-Sekunde Vs ist zulässig.

Energie eines Magneten

Die Kraftwirkungen des elektrischen Stroms werden in Spulen besonders deutlich. Die Energie einer stromdurchflossenen zylindersförmigen Luftspule ist

$$W = \frac{1}{2} H^2 \mu_0 / a.$$

2.1.4. Elektromagnete

In Elektromagneten werden die Erkenntnisse über das magnetische Feld praktisch angewendet.

Ferromagnetische Werkstoffe haben eine höhere Leitfähigkeit für magnetische Feldlinien als Luft. Diese Eigenschaft wird als magnetische Permeabilität bezeichnet. Unter relativer Permeabilität μ_r versteht man:

$$\mu_r = \frac{B_{Fe}}{B_0}$$

B_{Fe} Flußdichte der ferromagnetischen Feldspule
 B_0 Flußdichte der leeren Feldspule.

Die Permeabilität ferromagnetischer Stoffe ist eine Funktion der magnetischen Feldstärke. Ihr funktioneller Zusammenhang kann aus der Magnetisierungskurve eines speziellen ferromagnetischen Werkstoffs ermittelt werden (Bild 2.11).

Sie entsteht durch Anlegen eines magnetischen Feldes an den ferromagnetischen Werkstoff und stellt den Zusammenhang zwischen Feldstärke H und magnetischer Flußdichte B dar. Wegen des unterschiedlichen Verlaufs der Kurve für die magnetische Flußdichte beim Magnetisieren und Entmagnetisieren entsteht eine Hystereseschleife. Die bei der Feldstärke 0 verbleibende magnetische Flußdichte bezeichnet man mit Remanenz. Die erforderliche Feldstärke zum Beseitigen der Remanenz nennt man Koerzitivkraft.

Entsteht bei der Untersuchung eines ferromagnetischen Stoffes eine schmale Hystereseschleife, so ist die zur Ummagnetisierung des Stoffes notwendige Energie gering, der Werkstoff ist magnetisch weich. Ist die entstehende Hystereseschleife breit, so handelt es sich um einen magnetisch harten Stoff.

Durch Einbringen eines ferromagnetischen Werkstoffs in eine Feldspule vergrößert sich ihre magnetische Flußdichte:

$$B = \mu_0 \mu_r H.$$

Damit wird die magnetische Energie dieser Spule:

$$W = \frac{1}{2} H^2 \mu_0 \mu_r / a.$$

Enthalten Spulen ferromagnetische Stoffe, z. B. Eisen, so bezeichnet man sie entsprechend ihrer magnetischen Energie als Elektromagnete.

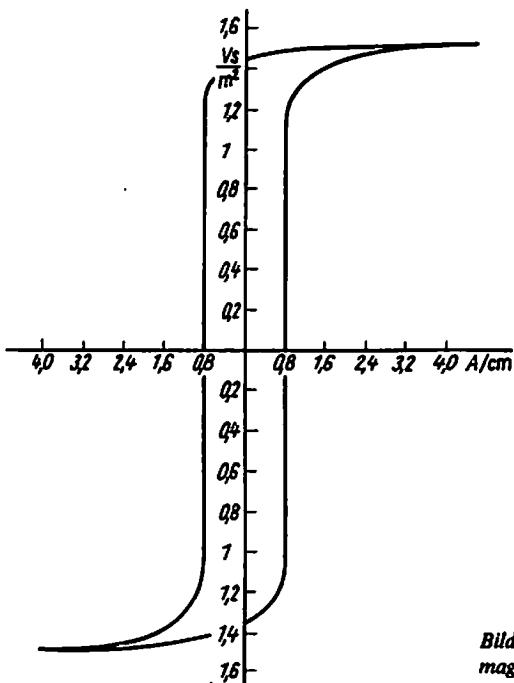


Bild 2.11. Magnetisierungskurve eines ferromagnetischen Werkstoffes

Die Zugkraft eines Elektromagneten hängt von der magnetischen Energie im Luftspalt des Elektromagneten ab. Sie ist am größten, wenn der Luftspalt zwischen dem Anker (angezogenen Teil) und der Spulenstirnfläche 0 ist.

Für die Zugkraft gilt:

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0\mu_r}$$

A Fläche der sich gegenüberstehenden Magnetpole.

2.1.5. Permanentmagnete

Permanentmagnete entstehen bei der Magnetisierung magnetisch harter Werkstoffe. Sie zeichnen sich durch eine hohe magnetische Flussdichte B bei der Feldstärke H aus.

Gleichzeitig sind hohe Gegenfeldstärken (Koerzitivfeldstärken) erforderlich, um ihre magnetische Flussdichte zu löschen.

Je größer die erforderlichen Gegenfelder sind, um die magnetische Flussdichte eines Magnetwerkstoffes zu löschen, um so größer ist die Dauerhaftigkeit der magnetischen Eigenschaften. Die magnetischen Eigenschaften von Dauermagneten beschreibt man durch Aufzeichnen ihrer Entmagnetisierungskurven. Sie werden als Ausschnitt aus dem 2. Quadranten der Hysteresekurve dargestellt.

Bild 2.12 zeigt die Entmagnetisierungskurven bekannter Magnetwerkstoffe. Verlauf und Form der Kurven bestimmen die Energiedichte BH des betreffenden Magnetwerkstoffes in seinem Arbeitspunkt. Die Güte eines Magnetwerkstoffes wird durch seine Energiedichte charakterisiert. Die Güte ist der Energiedichte direkt proportional. Da ein

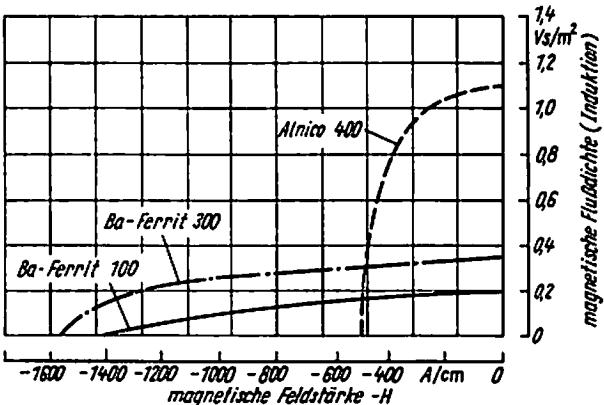


Bild 2.12. Entmagnetisierungskurven üblicher Magnetwerkstoffe

rechteckiger Verlauf der Entmagnetisierungskurve den theoretisch höchsten Wert der Energiedichte eines Magnetwerkstoffs beschreibt, wird die Güte eines Magneten durch einen zusätzlichen Quotienten festgelegt. Der Quotient wird als Ausbauchungsfaktor bezeichnet

$$\gamma = \frac{(BH)_{\max}}{B_{rB} H_c}$$

Der Ausbauchungsfaktor erreicht nur bei rechteckigem Kurvenverlauf den Wert 1.

Zur genaueren Kennzeichnung der magnetischen Güte multipliziert man die maximale Energiedichte mit dem Ausbauchungsfaktor.

Im allgemeinen zeichnet man den Verlauf der Energiedichte als zusätzliche Kurve in die Magnetisierungskurve ein (Bild 2.13).

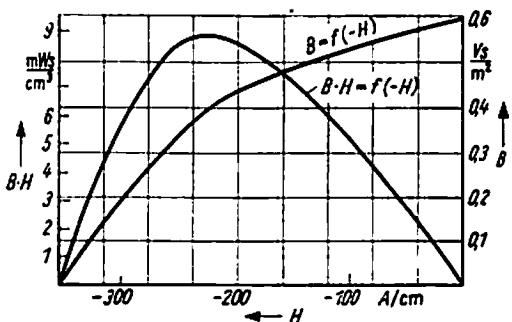


Bild 2.13. Entmagnetisierungskurve mit Energieproduktkurve

Permanentmagnete sind Legierungsmagnete. Sie werden durch Gießen, Pressen und Sintern hergestellt. Gepresste Permanentmagnete bestehen aus Pulvermischungen der jeweiligen Legierungsbestandteile. Legierungsbestandteile sind Fe, Al, Ni, Co, Mo, Ba, Cu, Pt, Ce, Sm u. a.

Magnete aus den Legierungselementen Fe, Ni, Al, Co, Cu bezeichnet man als Alnico-Magnete. Sie werden ebenfalls durch Gießen oder Pressen und Sintern hergestellt.

Die Legierungszusammensetzung und die Art des Erstarrungsvorgangs führen zu

unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Alnico-Magnete sind sehr hart und lassen sich nur durch Schleifen oder elektroerosive Verfahren bearbeiten.

Magnete aus Barium-Oxid bezeichnet man als Ferritmagnete. Sie werden aus feingemahlenem Pulver dieser Legierungselemente durch Pressen und anschließendes Sintern bei etwa 1000 °C hergestellt.

Ihre mechanischen Eigenschaften entsprechen denen keramischer Werkstoffe. Sie lassen sich nur durch Schleifen mechanisch bearbeiten. Man bezeichnet sie deshalb auch als keramische Magnete. Permanentmagnete aus den Legierungselementen Pt und Co sind Edelmetallmagnete. Sie werden durch Gießen, Schmieden und Ziehen hergestellt. Ihre mechanischen Eigenschaften lassen eine spanlose Kaltumformung und eine spanende Bearbeitung zu. Auf Grund des hohen Co-Anteils sind für die spanende Bearbeitung hochfeste Hartmetall- oder Diamantwerkzeuge erforderlich. Auch eine Schleifbearbeitung ist möglich. Permanentmagnete aus den Legierungselementen Sm-Co und Ce-Co bezeichnet man als Seltenerdmagnete. Sie werden wie Ferritmagnete aus Pulver der Legierungbestandteile durch Pressen und Sintern hergestellt.

Wegen dieser Herstellungstechnologie haben sie keramische Eigenschaften und sind außerordentlich hart und spröde. Ihre Bearbeitung ist nur durch Schleifen oder Ultraschallbearbeitung möglich.

Die magnetischen Gütewerte von Alnico-, Ferrit- und Seltenerdmagneten lassen sich durch Anlegen eines Magnetfeldes beim Gießen oder Pressen des Magnetwerkstoffes erheblich verbessern. Dabei werden die magnetischen Elementarbezirke in eine Vorzugsrichtung gezwungen, die sie nach der Beendigung des Herstellungsvorgangs und dem Entfernen des äußeren Magnetfeldes beibehalten. In dieser Vorzugsrichtung haben die Magnete wesentlich bessere Werte für die magnetische Induktion B als gleichartige, nicht

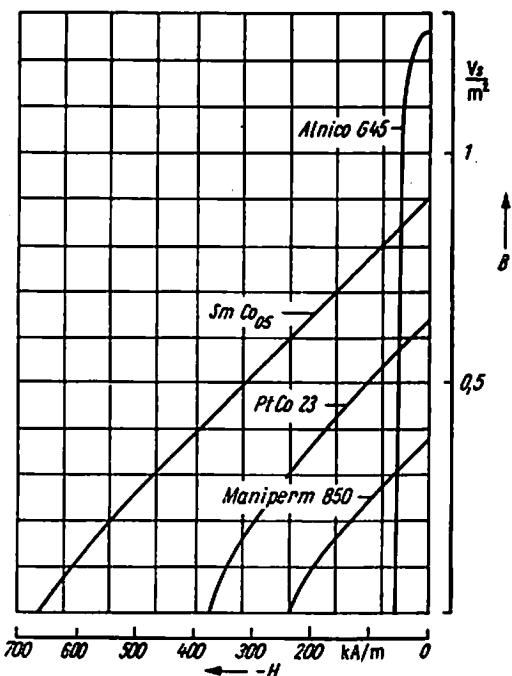


Bild 2.14. Entmagnetisierungskurven für Alnico, SmCo₅, PtCo23 und Maniperm

vorzugsgerichtete. Dabei verringert sich die Koerzitivfeldstärke. Vorzugsgerichtete Magnete sind aus diesem Grund empfindlich gegen eine Demontage des Magnet- systems, da dies durch die Vergrößerung des Arbeitsluftspalts einer Entmagnetisierung gleichkommt. Vorzugsgerichtete Magnete werden deshalb im montierten Zustand magnetisiert. Jede Demontage macht eine erneute Aufmagnetisierung notwendig.

Permanentmagnete ohne Vorzugsrichtung lassen sich im offenen Zustand aufmagnetisieren. Man bezeichnet sie als isotrop. Sie ändern ihre magnetischen Eigenschaften durch die Montage oder Demontage allgemein nicht.

Permanentmagnete mit einer magnetischen Vorzugsrichtung sind anisotrop.

Die geometrische Form eines Permanentmagneten bestimmt die Form seiner Entmagnetisierungskurve. Bild 2.14 zeigt solche Kurven für die vier beschriebenen Magnetwerkstoffe.

Für Alnico sind Entmagnetisierungskurven mit hohen B_r -Werten und geringen H_c -Werten typisch. Aus diesem Grund sind Alnico-Magnete wesentlich länger als ihr Durchmesser ($l/d \gg 1$). Ferritmagnete erreichen sehr hohe H_c -Werte. Ihre Entmagnetisierungskennlinie hat einen flachen Verlauf. Ihr Durchmesser ist darum größer als ihre Länge ($l/d \ll 1$).

Edelmetallmagnete erreichen sowohl hohe B_r - als auch hohe H_c -Werte. Ihre Entmagnetisierungskurven nähern sich dem eines idealen Magnetwerkstoffes. Es lassen sich Edelmetallmagnete mit einem l/d -Verhältnis von 1 verwirklichen.

Mit Seltenerdmagneten sind etwa doppelt so große magnetische Güteknoten wie für Edelmetallmagnete erreichbar. Dadurch bestehen in bezug auf die Geometrie größere Freiheiten. Ihr l/d -Verhältnis wird jedoch meist $\ll 1$ gewählt. Bild 2.15 zeigt Magnete aus den vier verschiedenen Magnetwerkstoffen.

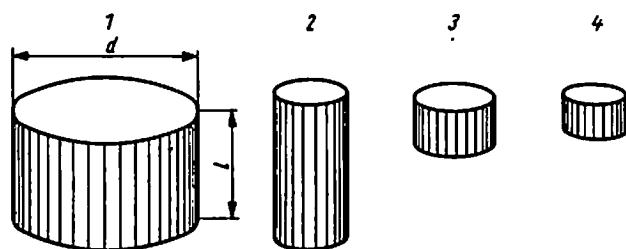


Bild 2.15. Magnete aus verschiedenen Magnetwerkstoffen

1 Barium-Ferrit, isotrop; 2 Alnico 450; 3 PtCo 23; 4 SmCo₅

Eine Unterscheidung nach der geometrischen Form der Magnete, um Rückschlüsse auf den Magnetwerkstoff zu ziehen, ist nicht möglich. Ferritmagnete und Seltenerdmagnete haben häufig die gleiche Geometrie. Im allgemeinen lassen sich nur Alnico- und Edelmetallmagnete durch ihre Kristallstruktur und Werkstofffarbe von den anderen Magnetwerkstoffen unterscheiden.

2.1.6. Elektromotoren

Wirkprinzip. Befindet sich ein stromdurchflossener, geradliniger, elektrischer Leiter in einem homogenen Magnetfeld, so wird er aus dem Magnetfeld herausgestoßen. Seine Bewegungsrichtung ergibt sich aus einem rechtwinkeligen räumlichen Koordinatensystem, dessen Achsen aus Strom (positive x-Richtung), Bewegungsrichtung der Kraft F (negative

y-Richtung) und Richtungssinn der magnetischen Feldlinien (positive z-Richtung) gebildet werden (Bild 2.16).

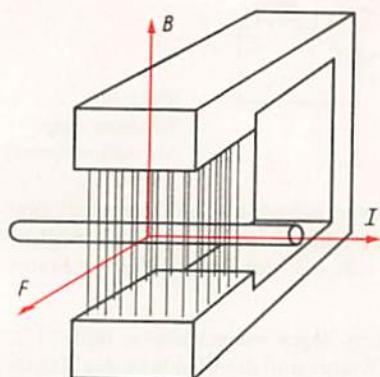


Bild 2.16. Koordinatenkreuz des elektromotorischen Prinzips

Die Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter ist der Stärke des magnetischen Feldes, seiner Länge und dem im Leiter fließenden Strom direkt proportional.

$$F = B I l$$

F Kraft

B magnetische Flußdichte (Induktion)

l effektive Leiterlänge

I Stromstärke.

Werden die elektrischen Leiter in Form einer Wicklung mit N Windungen im magnetischen Feld angeordnet, so multipliziert sich die Kraftwirkung:

$$F = N B I l$$

Dieses physikalische Prinzip wird als elektromotorisches Prinzip bezeichnet. Es ist dabei gleichgültig, ob das Magnetfeld von einem Gleichstrom, einem Wechselstrom oder einem Dauermagneten erzeugt wird. Für die Bewegung des Leiters ist es ebenfalls von sekundärer Bedeutung, ob der die Bewegung erzeugende Strom ein Gleich- oder ein Wechselstrom ist.

2.1.6.1. Gleichstrommotoren

In seinem einfachsten Aufbau besteht ein Gleichstrommotor aus einem Stator und einem Rotor. Sind Rotorwicklung und Statorwicklung in Reihe geschaltet (Bild 2.18),

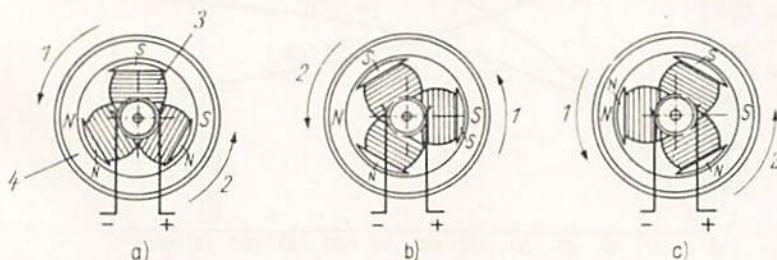


Bild 2.17. Aufbau eines Gleichstrommotors

a), b), c) Bewegungszustände bei Linksdrehung 1 Abstoßung; 2 Anziehung; 3 Anker; 4 Magnet

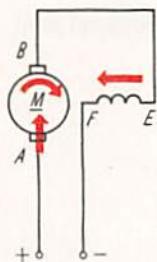


Bild 2.18
Schaltung eines
Hauptstrommotors

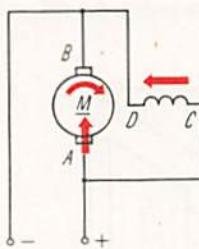


Bild 2.19
Schaltung eines
Nebenstrommotors

bezeichnet man diesen Gleichstrommotor als Hauptschlüsselemotor. Sind Rotorwicklung und Statorwicklung zueinander parallel geschaltet (Bild 2.19), wird er als Nebenschlüsselemotor bezeichnet. Bei Gleichstrommotoren läßt sich der Rotor oder der Stator durch einen Dauermagneten ersetzen (Bild 2.17).

Wirkungsweise. Die beiden Pole N und S des Rotors liegen waagerecht (s. Bild 2.17). Durch Anlegen einer Spannung an die Bürsten des Rotors und die Wicklung des Stators fließt in beiden Stromzweigen ein Strom. Dabei stellt sich der dargestellte Polarisierungszustand des Rotors ein. In diesem Augenblick wird das rechts unten liegende Horn des Rotors vom S-Pol des Stators angezogen und gleichzeitig das links unten liegende Horn vom N-Pol des Stators abgestoßen.

Bei fast vollständiger Annäherung des Rotorhorns N an den Statorpol S wird der Rotor durch den Kollektor umgepolzt. Damit stehen sich nunmehr gleichnamige Pole mit der Polarität S gegenüber, die sich abstoßen (Bild 2.17b).

Der Rotor dreht sich weiter, so daß sich nunmehr wieder ein Horn des Rotors mit der Polarität N dem S-Pol des Stators nähert (Bild 2.17c).

Die Folge der ständigen Umpolung des Rotors ist eine selbständige Drehbewegung, deren Drehzahl von der Stärke des Statormagnetfeldes und dem Rotorstrom abhängig ist.

Die Drehbewegung des Rotors eines Gleichstrommotors ergibt sich aus dem ständigen Anziehen und Abstoßen der Rotorpole durch die Pole des Stators. Stellung und Teilung des Kollektors sorgen für die notwendigen Polaritätswechsel des Rotors.

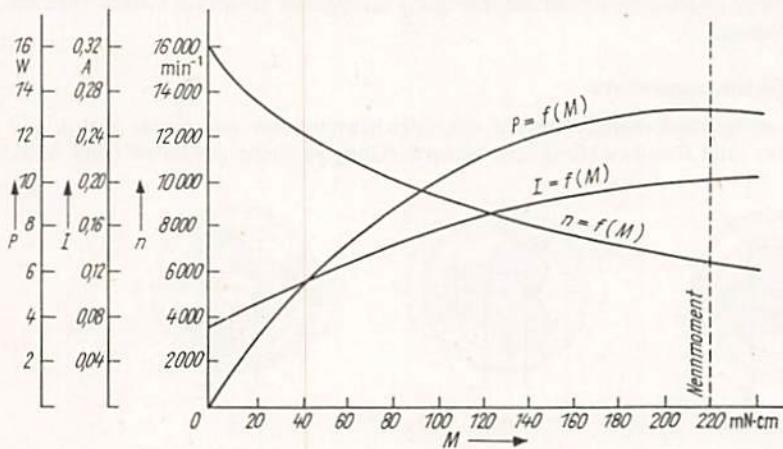


Bild 2.20. Drehmomentkennlinie eines Hauptschlüsselemotors

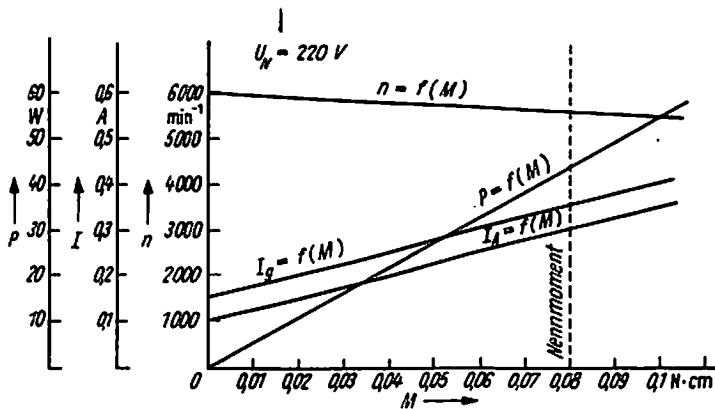


Bild 2.21. Drehmomentkennlinie eines Nebenstrommotors

Hauptschluß- und Nebenschlußmotor unterscheiden sich in bezug auf Drehmoment und Drehzahlverhalten. Ihre typischen Kennlinien sind in den Bildern 2.20 und 2.21 dargestellt.

Beim Hauptschlußmotor fließt durch Stator und Rotor der gleiche Strom, dessen Größe bei Stillstand nur durch den ohmschen Widerstand der Wicklung begrenzt wird. Er erzeugt in diesem Zustand sein maximales Drehmoment. Im unbelasteten Zustand steigt seine Drehzahl auf einen Extremwert, wobei die Gefahr der „Explosion“ des Rotors besteht. Man setzt Hauptschlußmotoren deswegen nie unbelastet ein und nutzt ihren Vorteil, das hohe Anlaufmoment, für spezielle Antriebsaufgaben.

Nebenschlußmotoren zeichnen sich durch ein konstantes Statorfeld aus. Ihr Anlaufdrehmoment ist kleiner, ihre Drehzahl ist weniger lastabhängig als bei Hauptschlußmotoren.

Wegen dieser Eigenschaften verwendet man sie als Antriebsmotoren für kleinere Maschinen, die ein weitgehend lastunabhängiges Drehzahlverhalten erfordern.

2.1.6.2. Allstrommotoren

Grundsätzlich lassen sich Gleichstrommotoren mit bewickeltem Stator auch mit Wechselstrom betreiben.

Wegen ungünstiger Eigenschaften, die sich aus Induktionsvorgängen im Rotor ergeben, werden Nebenschlußmotoren nicht für Gleich- und Wechselstrom gebaut.

Hauptschlußmotoren für Gleich- und Wechselstrom werden als sog. Allstrommotoren bezeichnet.

2.1.6.3. Wechselstrommotoren

Das elektromotorische Prinzip ist umkehrbar. Ordnet man einen drehbaren Dauermagneten in einem festen Spulenfeld an, so bewegt sich dieser in entgegengesetzter Drehrichtung zum sonst beweglichen stromdurchflossenen Leiter (Bild 2.22).

Auf diesem Funktionsprinzip baut der nach Bild 2.23 dargestellte einfachste Wechselstrommotor, der Synchronmotor, auf.

Die drei Polpaare des Stators tragen Wicklungen, die von einem Wechselstrom durchflossen werden. Die Polarität der Polpaare wechselt im Rhythmus der Frequenz des Wechselstroms. Dadurch laufen die Pole des Stators scheinbar kreisförmig um. Der im Stator drehbar gelagerte Dauermagnet übt die Funktion des Rotors aus. Im

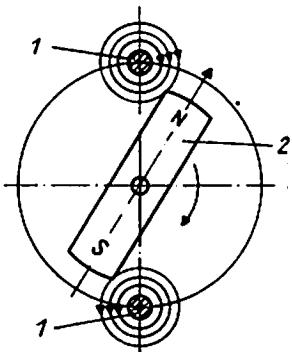


Bild 2.22. Aufbau des Synchronmotors

1 von Wechselstrom durchflossener Leiter;
2 drehbarer Dauermagnet

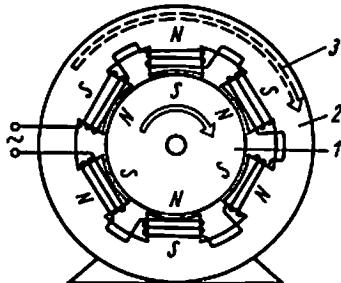


Bild 2.23. Funktionsprinzip des Synchronmotors

1 Dauermagnet – Rotor; 2 Stator mit 3 Polpaaren; 3 Umlaufrichtung der Polarietät

System sind jedem Südpol jeweils zwei Nordpole benachbart; dadurch ist die Drehrichtung des Rotors nicht vorbestimmt und muß durch einen Anstoßimpuls vorgegeben werden. Der N-Pol des Rotors wird vom N-Pol des Stators abgestoßen und der sich nähernde Südpol des Rotors gleichzeitig angezogen. Auf Grund der wechselnden Polarität der Statorpole läuft der Rotor mit geringem Winkelabstand hinter dem Statorfeld her. Wird eine angelegte Last an der Rotorwelle so groß, daß seine Drehzahl wesentlich kleiner als die scheinbare Drehzahl des Stators ist, kommt der Rotor außer Tritt und bleibt stehen. Synchronmotoren sind einfache Wechselstrommotoren, deren Drehzahl der Antriebsfrequenz des Wechselstroms direkt proportional ist. Sie laufen nicht von selbst an. Sie sind nur gering belastbar und erreichen einen Wirkungsgrad von max. 8%.

Ihre Drehzahl ist aus der Polpaarzahl des Rotors nach der Beziehung

$$n = \frac{f}{p} \text{ zu berechnen;}$$

n Drehzahl
f Frequenz
p Polpaarzahl.

2.1.6.4. Asynchronmotoren

Durch Herausführen der Wicklungen für die Polpaare des Stators nach Bild 2.24 und Speisung mit Drehstrom erhält man ein Drehfeld. Die Wicklungen können wie in der dargestellten Weise in Stern oder in Dreieck geschaltet sein. Wird in diesem Drehfeld eine geschlossene Leiterschleife drehbar angebracht, so wird in dieser eine Spannung induziert. Die Spannung führt zu einem Strom in der Leiterschleife, dessen Größe gleich dem theoretisch entstehenden Kurzschlußstrom ist. Nach dem elektromotorischen Prinzip führt die Leiterschleife im umlaufenden Magnetenfeld eine Drehbewegung aus.

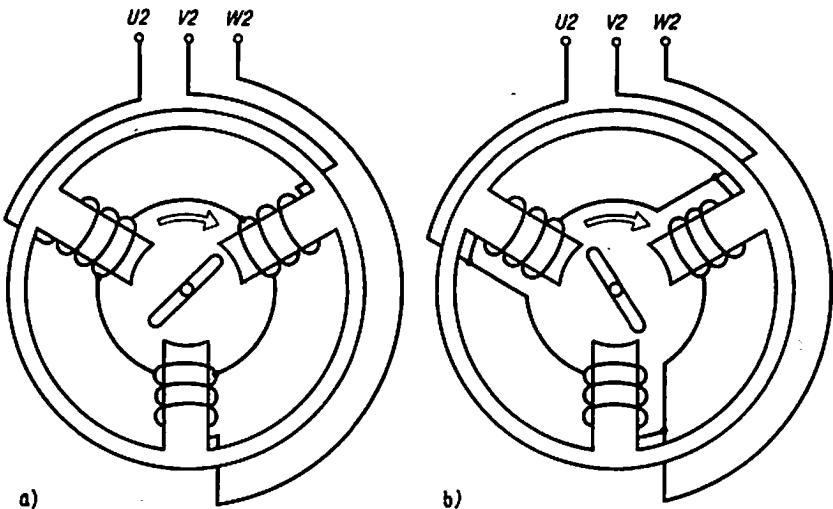


Bild 2.24. Aufbau eines Asynchronmotors

a) Sternschaltung; b) Dreieckschaltung

Da die Höhe der in der Leiterschleife induzierten Spannung von der Anzahl der geschnittenen Kraftlinien im Drehfeld abhängt, muß die Leiterschleife asynchron zum Drehfeld umlaufen. Das Drehmoment des Motors ist um so größer, je mehr der Rotor gegenüber dem Drehfeld des Stators „schlüpft“. Die charakteristische Kennlinie eines Asynchronmotors ist im Bild 2.25 dargestellt.

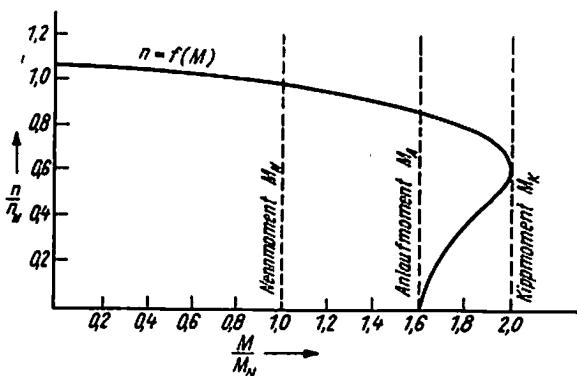


Bild 2.25. Kennlinie eines Asynchronmotors

Die Drehzahl eines Asynchronmotors ist von der Polpaarzahl des Stators abhängig:

$$n < \frac{f}{p}$$

Sie weicht wegen des beschriebenen Wirkprinzips von der theoretischen Drehzahl ab.

In der Praxis werden Asynchronmotoren mit Kupferstäben im Rotor versehen, die über stirnseitige Kurzschlußringe untereinander verbunden sind. Der Rotor besteht

aus geschichteten Dynamoblechen, die durch Isolierauflagen voneinander getrennt sind.

Drehstromasynchronmotoren sind die am häufigsten verwendeten elektrischen Antriebsmotoren für Maschinen.

2.1.7. Elektrische Schalter

Elektrische Schalter sind Baugruppen, die spannungsführende Leitungen durch spezielle Kontaktpaarungen gesteuert verbinden oder trennen.

Zu den Hauptbestandteilen zählen die Kontakte. Elektrische Schalter ermöglichen den Schaltzustand „Ein“ und den Schaltzustand „Aus“. Elektrische Schalter, deren Kontakte im Ruhezustand geöffnet sind, bezeichnet man als „Schließer“. Sind die Kontakte im Ruhezustand geschlossen, so bezeichnet man sie als „Öffner“ (Bild 2.26).

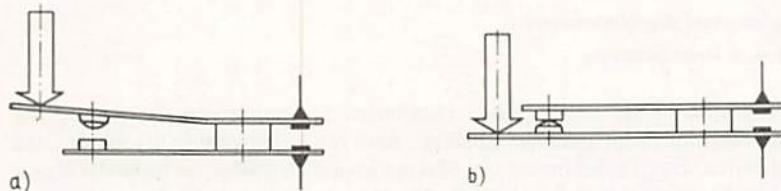


Bild 2.26. Elektrische Schaltkontakte

a) Schließer; b) Öffner

Im Schaltzustand „Ein“ sind die Kontaktteile des Schalters aufeinandergepreßt. Der Übergangswiderstand zwischen den beiden Kontaktteilen soll Null und zeitlich konstant sein.

Im Schaltzustand „Aus“ soll der elektrische Widerstand zwischen den beiden Kontaktteilen unendlich groß und ebenfalls zeitlich konstant sein. In diesem Schaltzustand entspricht der Widerstand zwischen den beiden Kontaktteilen dem Widerstand der dazwischenliegenden Luftstrecke und ihrer Leitfähigkeit.

In der Praxis genügt nur der Schaltzustand „Aus“ nahezu dem Idealzustand. Der Übergangswiderstand im Schaltzustand „Ein“ ist nur in wenigen Fällen zeitlich konstant und reproduzierbar. Er ist von der Kontaktbelastung, der Kontaktkorrosion, der Kontaktverschmutzung und vom Kontaktwerkstoff abhängig.

Der über die Kontaktstrecke fließende Strom und die am Kontakt anliegende Spannung sind Ursache der Kontaktbelastung. Sie führen zur Erwärmung und in Extremfällen zum Verschweißen der Kontakte.

Wird die Kontaktstrecke unterbrochen, können sich Lichtbögen, Funkenbildung und Ionisierung der Luft ergeben. Dadurch entstehen Kontaktenschäden durch Kraterbildung, Ausbrennerscheinungen und Wandern des Kontaktwerkstoffs von der negativen zur positiven Kontaktseite. Der Übergangswiderstand verändert sich.

Einflüsse der Umgebungsatmosphäre sind Ursache von Kontaktkorrosion. Schwefel-dioxidhaltige Luft, Ozon und weitere in der Umgebungsluft auftretende Beimengungen führen zu einer Veränderung der Kontaktobерfläche und zu einer Veränderung des

Übergangswiderstandes bis zu Widerstandswerten in der Größenordnung von einigen Kiloohm.

Kontaktverschmutzungen können die Ursache für das vollständige Versagen von Kontaktverbindungen sein. Sie entstehen durch Staubeinwirkungen in Verbindung mit fetthaltigen Dämpfen. Auch andere in der Umgebungsluft enthaltene Teilchen, wie Abrieb von Textilien, Kunststoffen usw., können zum Ausfall von Kontaktverbindungen führen. In diesem Fall steigt der Übergangswiderstand zwischen den Kontakt elementen in die Größenordnung von Megaohm.

Kontaktwerkstoffe können durch Einwirkungen des Stroms ihre Leitfähigkeit verändern. Es kann unter Einfluß der Umgebungsatmosphäre zur verstärkten Ausbildung nichtleitender Verbindungen kommen. Um eine sichere Funktion der Kontakt elemente zu erreichen, ist es wichtig, den Kontaktwerkstoff sorgfältig und unter Beachtung der äußeren Betriebsbedingungen des Schalters auszuwählen.

Zur Sicherung einer hohen Zuverlässigkeit bei elektrischen Kontakten wurden umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt.

Schalter und Kontakt elemente haben für elektrische Uhren große Bedeutung und bestimmen deren Zuverlässigkeit. Kontakt elemente müssen darum zur Sicherung der einwandfreien Funktion der Uhren besonders sorgfältig behandelt und gewartet werden. Elektrische Schaltkontakte werden als

- offene Kontakte (Bild 2.27),
- geschützte Kontakte (Bild 2.28),
- Kontakte mit flüssigem Kontaktmedium (Bild 2.29)

hergestellt.

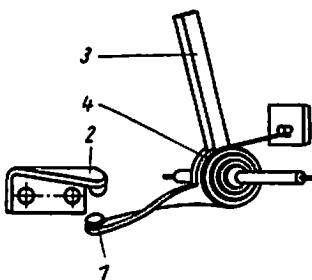


Bild 2.27. Offener (ungeschützter) Kontakt

1 Schaltkontakt; 2 Gegenkontakt; 3 Schalt hebel; 4 Rückstellfeder

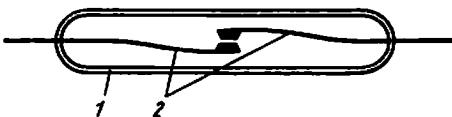


Bild 2.28. Geschützter Kontakt

1 Glasrohr; 2 Stahlfeder

Kontaktwerkstoffe für elektrische Kontakte sind:

Kupfer Cu	Silber-Kadmium AgCd 15
Feinsilber Ag	Silber-Palladium AgPd 30
Gold Au	Gold-Silber AuAg 20; AuAg 40
Platin Pt	Gold-Nickel AuNi 5
Palladium Pd	Platin-Iridium PtIr 5; PtIr 10
Silber-Nickel AgNi	Quecksilber Hg
Silber-Kupfer, Hartsilber	AgCu 3,5; AgCu 7,5; AgCu 10

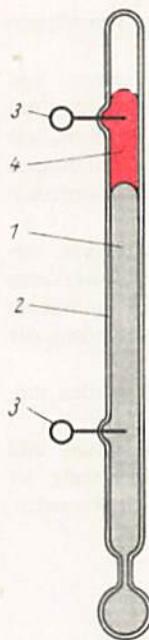


Bild 2.29. Schaltkontakt mit flüssigem Kontaktmedium

1 Kontaktmedium; 2 evakuiertes Glasrohr; 3 Kontakte; 4 geschlossene Kontaktstellung

Für den praktischen Gebrauch sind Kontaktwerkstoffe aus Edelmetalllegierungen üblich. Sie zeigen in bezug auf Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Härte, Lebensdauer und Übergangswiderstand optimalere Eigenschaften als die reinen Metalle.

Die Kontaktteile für offene und geschützte Schaltkontakte sind Kontaktstifte mit bimetallischem Aufbau. Sie sind auf Trägerwerkstoffen aufgenietet oder aufgeschweißt. Als Trägerwerkstoffe dienen CuZn-Legierungen (Ms), Walzbronze (CuSn), Neusilber (CuNi) und Stahllegierungen.

Die Auswahl des Trägerwerkstoffes ist vom Einsatzzweck abhängig.

Offene elektrische Schaltkontakte sind Kontaktstrecken, die nicht durch äußere Mittel geschützt sind. Sie unterliegen den Umgebungsbedingungen und sind gegen Verschmutzung besonders gefährdet. Ihr Vorteil liegt in der leichten Anpassung der Kontaktanordnung an die konstruktiven Bedingungen des Gerätes. Sie beeinflußt die Gestaltung des Gerätes nur unwesentlich. Mögliche prinzipielle Ausführungen zeigt Bild 2.30.

Offene Schaltkontakte werden nach der Art ihrer Betätigung als

- Sprungkontakte oder
- Schiebekontakte

ausgeführt.

Als Kontaktkombinationen aus den verschiedenen Kontaktausführungen haben die Kontaktanordnungen unterschiedliche Eigenschaften, die in bezug auf ihre Vor- und Nachteile dem Einsatzzweck angepaßt werden.

Sprungkontakte zeichnen sich durch sehr kurze Schließzeiten aus, die in Größenordnungen von ms liegen.

Im Schließaugenblick treten hohe Kontaktdrücke auf, die bei entsprechender Ausbildung der Kontaktteile einen sicheren Kontaktabschluß garantieren. Eventuell auf

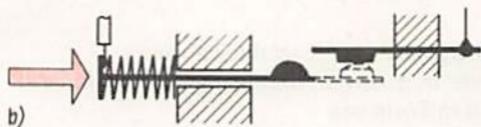
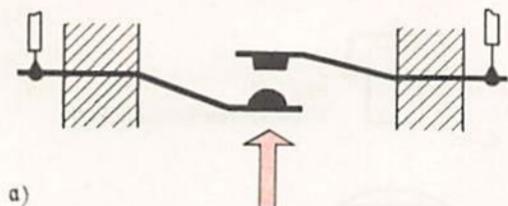


Bild 2.30. Ausführungsformen offener Kontakte

a) Sprungkontakt; b) Schiebekontakt

den Kontaktelementen vorhandene Schmutz- oder Korrosionsschichten werden durchschlagen.

Sprungkontakte führen zu Kontaktstellungen, die Ursache für Kontaktunterbrechungen sind, die bis zum Ausschwingen der Kontaktteile andauern.

Schiebekontakte beruhen auf dem Gleiten der Kontaktteile aufeinander. Wegen der beim Kontaktabschluß auftretenden Reibung werden die Oberflächen bei jeder Kontaktbetätigung durch Reibung gesäubert und etwa auftretende Verschmutzungen durch Reibkräfte verhindert.

Schiebekontakte haben größere Schließzeiten als Sprungkontakte. Während der Schließphase treten durch die Beseitigung der Kontaktverschmutzungen zeitweise Kontaktunterbrechungen auf. Sie äußern sich elektrisch wie Kontaktstellungen. Der Schiebekontakt wird auch als schleicher Kontakt bezeichnet.

Tafel 2.1 vermittelt eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der beiden Kontaktanordnungen.

Tafel 2.1. Vor- und Nachteile der Kontaktarten

Kontaktart	Vorteile	Nachteile
Sprungkontakt	kurze Schließ- und Öffnungszeit; hohe Aufschlagkraft	Kontaktstellen; keine Selbstreinigung durch Kontaktbewegung
Schiebekontakt	Selbstreinigung durch Kontaktbewegung	Kontaktverschleiß durch Reibung; lange Schließ- und Öffnungszeiten

Entsprechend den Forderungen, die an eine Kontaktstrecke gestellt werden, baut man Kontaktanordnungen als

- Punktkontakte oder als
- Flächenkontakte auf.

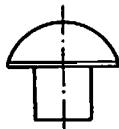


Bild 2.31
Linsenkopfnietkontakt

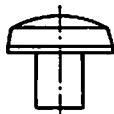


Bild 2.32
Trapezkopfnietkontakt, ballig

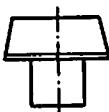


Bild 2.33
Trapezkopfnietkontakt, flach

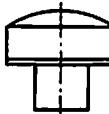


Bild 2.34. Zylinderkopfnietkontakt,
ballig

Sie ergeben sich aus der Kombination unterschiedlicher Kontaktneiformen.

Kontaktnei werden als Edelmetallniete in massiver Ausführung oder als Bimetallniete mit ausplattiertem Kontaktwerkstoff in Form von

- Linsenkopfniet (Bild 2.31),
- Trapezkopfniet, ballig (Bild 2.32),
- Trapezkopfniet, flach (Bild 2.33),
- Zylinderkopfniet, ballig (Bild 2.34),

hergestellt.

Punktkontaktanordnungen erhält man aus der Paarung eines balligen Niets mit einem flachen Niet. Die Kontaktfläche ist rund und entspricht in ihrer Größe der Hertzschen Abplattung einer Kugel. Die zulässige Kontaktbelastung ist gering (Bild 2.35). Die Kontaktpaarung ist gegen geometrischen Versatz unempfindlich und leicht zu reinigen. Infolge der Punktierührung wird ein auf der Kontaktfläche befindlicher Schmutzfilm durchbrochen.

Bessere Eigenschaften in bezug auf das Durchbrechen von Schutzfilmen hat die Punktkontaktpaarung aus zwei balligen Kontaktlementen nach Bild 2.36. Auf Grund

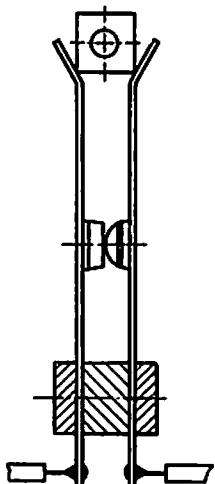


Bild 2.35. Punktkontakt-
paarung (flach – ballig)

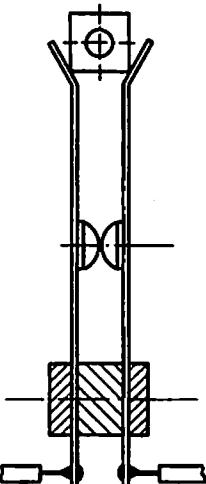


Bild 2.36. Punktkontakt-
paarung (ballig – ballig)

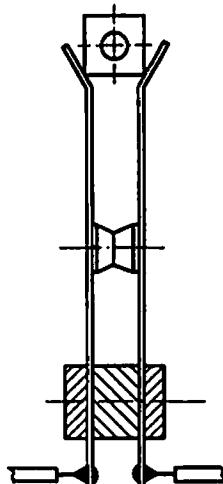


Bild 2.37. Flächen-
kontaktpaarung

der Hertzschen Pressung (Zusammenprall von zwei kugelförmigen Körpern) ist auch hier die Berührungsfläche ein Kreis.

Die mögliche Kontaktbelastung ist gering. Um zu einem sicheren Arbeiten der Kontaktanordnung zu gelangen, ist die genaue Justage der beiden Kontaktstiele zueinander erforderlich.

Für hohe Kontaktbelastungen sind Flächenkontakte besser geeignet. Zu diesem Zweck werden zwei flache Kontaktstiele miteinander gepaart. Diese Kontaktanordnung ist gegen seitlichen Versatz der beiden Kontaktteile unempfindlich, wenn gewährleistet werden kann, daß eine fast vollständige Überdeckung der beiden Kontaktstiele erfolgt. Die sichere Funktion der Kontaktanordnung ist an ein absolut flaches und paralleles Schließen der Kontaktteile gebunden (Bild 2.37). Im anderen Fall kommt es zu einseitigen Abnutzungerscheinungen und zu Einbrennstellen auf der Kontaktfläche.

Die auftretenden Kontaktdrücke sind hier gering, da der spezifische Flächendruck klein ist. Die Kontaktanordnung ist stark schmutzempfindlich und bei Sprungkontakten nicht selbstreinigend. Sie wird häufig bei Schieberkontakten verwendet.

Geschützte Kontakte sind Kontaktanordnungen, die in einem nach außen hermetisch abgeschlossenen Raum betrieben werden. Dieser Raum ist eine beiderseitig verschlossene Glaskugel, die mit einem Schutzgas — meist Stickstoff — gefüllt ist. Das Schutzgas verhindert Kontaktkorrosion und Verbrennungerscheinungen an den Kontaktteilen. Schutzgaskontakte sind als Sprungkontakte aufgebaut. Ihre Kontaktteile sind Punktkontakte oder Flächenkontakte. Da sie mit einfachen mechanischen Mitteln nicht betätigt werden können, sind magnetische Mittel erforderlich, um ein Öffnen oder Schließen der Anordnung zu ermöglichen. Als Schaltmittel werden Elektromagnete (Bild 2.38) oder Dauermagnete (Bild 2.39) verwendet.

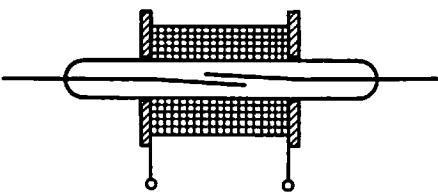


Bild 2.38. Schutzrohrkontakt mit elektromagnetischer Anregung

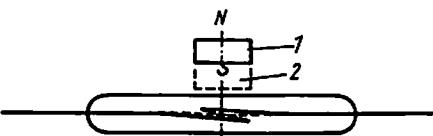


Bild 2.39. Schutzrohrkontakt mit permanentmagnetischer Anregung

1 Dauermagnet; 2 Kontaktbetätigung durch Anlegen des Magneten

Geschützte Kontakte sind mechanische Kontakte mit sehr hoher Zuverlässigkeit. Wegen ihres Aufbaus und der notwendigen Schaltelementen beeinflussen sie die konstruktive Gestaltung eines Gerätes stark. Ihre Kontaktteile können wegen der Schutzgasatmosphäre höher belastet werden als gleichartige mechanische Kontaktanordnungen.

Kontakte mit flüssigem Kontaktmedium gehören ebenfalls zu den geschützten Kontakten. Wegen des Kontaktmediums sind sie als Glaskörnchenkontakte unter dem Begriff „Quecksilberschalter“ bekannt.

Ihre Funktion beruht auf zwei an den Glaskröpfchenenden eingeschmolzenen Kontaktdrähten, die bei waagerechter Lage durch Quecksilber überbrückt werden. Wird die Glaskröpche nach rechts oder nach links geneigt, so fließt das Quecksilber in das rechte oder linke Ende der Röhre, und der Kontakt ist unterbrochen (Bild 2.40). Quecksilberschalter sind hoch belastbar und sehr zuverlässig. Ihre Lebensdauer ist nahezu unbegrenzt. Um die Schaltbewegung einzuleiten, sind äußere mechanische Mittel notwendig, die die Kippbewegung zum Ein- oder Ausschalten erzeugen.

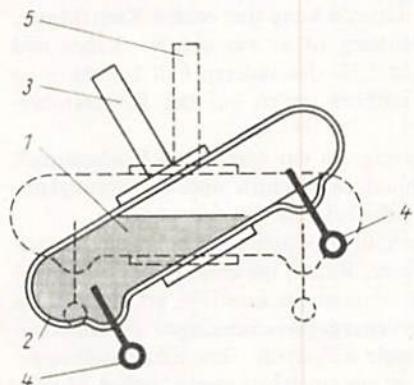


Bild 2.40. Quecksilberschalter

1 Quecksilber; 2 Glasrohr; 3 Schalthebel; 4 Anschlußösen; 5 geschlossene Stellung des Kontakts

2.2. Aufbau und Wirkungsweise elektrischer Uhren

Elektrische Uhren haben sich aus den mechanischen Uhren entwickelt. Die einzelnen Entwicklungsschritte dieser Uhren sind aus dem gewählten Antriebsprinzip erkennbar.

Dabei führen die gewünschten Funktionsziele, wie

- elektrischer Aufzug,
- elektrischer Antrieb,
- elektromechanische Anzeige

zu charakteristischen Aufbauprinzipien. Diese sind durch die Anwendung bestimmter mechanischer und elektrischer Bauelemente zu kennzeichnenden Merkmalen elektrischer Uhren geworden.

2.2.1. Indirekt angetriebene elektrische Uhren

Indirekt angetriebene elektrische Uhren speichern die zugeführte elektrische Energie in Form von mechanischer Energie.

Das Grundprinzip indirekt angetriebener elektrischer Uhren beruht darauf, ein mechanisches Uhrwerk herkömmlicher Konstruktion mittels elektrischer Energie automatisch aufzuziehen. Dazu ist es notwendig, die elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln und dem mechanischen Energiespeicher, einer Antriebsfeder oder einem Triebgewicht, in dem Augenblick zuzuführen, in dem dessen Energie nahezu aufgezehrt ist. Dazu ist der Energiezustand des mechanischen Energiespeichers auszuwerten und das Ergebnis der Auswertung in einen „Befehl“ umzuformen.

Alle elektrischen Uhren mit indirektem Antrieb nutzen den Ablaufweg des elektrischen Energiespeichers als Information für den Energiezustand und lösen beim Erreichen eines bestimmten Ablaufweges durch Kontaktschluß die Zuführung elektrischer Energie aus. Dieser Vorgang wird unterbrochen, wenn durch die Aufzugsbewegung der Ausgangszustand wiederhergestellt ist. In diesem Augenblick wird der Kontakt geöffnet und der Stromkreis unterbrochen. Da während der Aufzugphase die Uhr ihren Gang aufrechterhalten muß, wird die Wiederaufladung des mechanischen Energiespeichers bereits eingeleitet, ehe dieser vollständig entladen ist.

Bei Uhren mit Antriebsfeder ist deshalb eine Vorspannung erforderlich. Uhren mit Triebgewicht haben aus dem gleichen Grund eine bestimmte Antriebslage als Energievorspeicherung.

Zur Umwandlung der elektrischen Energie in mechanische Energie werden Umformerelemente, wie Elektromagnete und Elektromotoren, eingesetzt.

Das periodische Wiederaufladen des mechanischen Energiespeichers führt zu relativ hohen Gangleistungen. Sie sind bei vielen Uhren dieses Typs besser als 1 min je Woche. Durch die Ausnutzung des geradlinigen Teils der Ablaufkennlinie einer Antriebsfeder steht am Ankerrad ein nahezu gleichbleibendes Drehmoment zur Verfügung, so daß auch Hemmungen mit geringer Güte hohe Gangleistungen liefern. Es können sowohl Antriebsfedern mit rechteckigem als auch mit rundem Querschnitt verwendet werden (Bild 2.41 und 2.42).

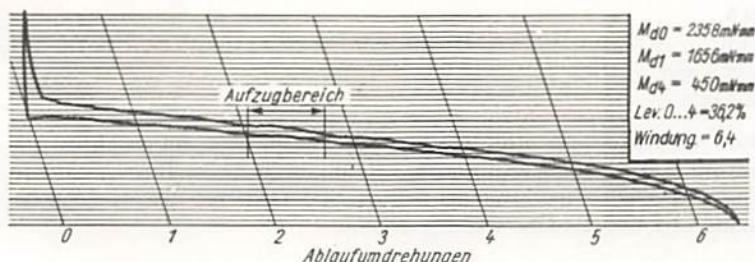


Bild 2.41. Federkennlinie einer Antriebsfeder mit rechteckigem Querschnitt

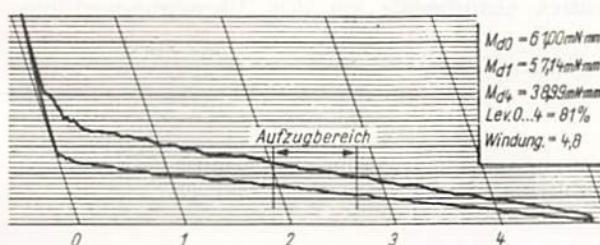


Bild 2.42. Federkennlinie einer Antriebsfeder mit rundem Querschnitt

Die Gangleistung indirekt angetriebener elektrischer Uhren ist vom Energiezustand der elektrischen Spannungsquelle unabhängig.

Diese Eigenschaft ergibt sich aus dem Grundprinzip ihres Aufbaus. Bei sinkender Spannung verlängert sich lediglich die Länge der Aufzugsdauer, aber nicht das Moment

am Ankerrad. Ist die elektrische Spannungsquelle erschöpft, wird der Aufzugzyklus nicht abgeschlossen, und die Uhr bleibt stehen. Durch besondere konstruktive Mittel wird dafür gesorgt, daß der mechanische Energiespeicher nicht vollständig entladen und der Kontakt vor Einsetzen einer neuen Spannungsquelle geöffnet wird.

2.2.1.1. Indirekt angetriebene elektrische Uhren mit Motoraufzug

Bei indirekt angetriebenen elektrischen Uhren mit Motoraufzug wider der mechanische Energiespeicher über ein einstufiges Rädergetriebe durch einen Elektromotor aufgezogen.

Der Aufzugzyklus wird durch das ausgewählte Antriebsrad des Uhrwerks bestimmt. Größe und Energieinhalt des mechanischen Energiespeichers hängen von der Getriebestufe im Uhrwerk ab, der das Antriebsrad zugeordnet ist.

Als Antriebsrad elektrischer Uhren mit Motoraufzug lassen sich außer dem Federhaus auch das Minutenrad, das Kleinbodenrad und das Sekundenrad verwenden. Der Aufzugzyklus wird aus steuerungstechnischen Gründen meist auf eine Ablaufumdrehung des ausgewählten Antriebsrades festgelegt.

Der Aufzugzyklus beträgt beim Aufzug am

Federhaus 24 h,

Minutenrad 1 h,

Kleinbodenrad 8 min,

Sekundenrad 1 min.

Das zum Antrieb des Ankerrades erforderliche Drehmoment wird um so kleiner, je näher das zum Antrieb ausgewählte Rad zum Ankerrad kommt. Diese Tatsache erklärt sich wie folgt: Uhrengetriebe mechanischer Uhren sind Getriebe, die ins Schnelle übersetzen. Daraus folgt, daß das Übersetzungsverhältnis

$$i_1 = \frac{n_1}{n_2},$$

da n_2 stets größer als n_1 , immer kleiner als 1 ist.

Beim Hinzufügen einer weiteren Getriebestufe mit dem Übersetzungsverhältnis

$$i_2 = \frac{n_3}{n_4} \quad \text{multiplizieren sich die beiden Werte:}$$

$$i = i_1 i_2.$$

Damit wird das gesamte Übersetzungsverhältnis zahlenmäßig wesentlich kleiner als 1.

Für die Leistung, die einem rotierenden Antrieb entnommen wird, gilt:

$$P = M_1 n_1.$$

Die an jeder Stelle des Getriebes zu übertragende Leistung ist theoretisch gleich. Also gilt für die Leistung der Getriebestufe 1, daß sie gleich der Leistung, die durch die Getriebestufe 2 zu übertragen ist, sein muß. In einer Beziehung ausgedrückt heißt das

$$P_1 = M_{11} n_1 = P_2 = M_{12} n_2 = P.$$

Ermittelt man aus dieser Gleichung die Größe von M_{12} , so ist

$$M_{12} = M_{11} \frac{n_1}{n_2}$$

oder

$$M_{12} = M_{11} \cdot i.$$

Damit wird das erforderliche Drehmoment am Rad 2 um das Übersetzungsverhältnis kleiner. Diese Erkenntnis läßt sich für die weiteren Getriebestufen verallgemeinern, so daß das an der jeweiligen Getriebestufe erforderliche Drehmoment um den Faktor des Übersetzungsverhältnisses geringer ist.

Die zum Aufladen des Energiespeichers erforderliche Zeit soll möglichst kurz sein. Sie ergibt sich aus der Aufzugsdrehzahl des Elektromotors.

Hat ein Elektromotor eine Nenndrehzahl von 1400 min^{-1} und treibt er das Aufzuggrad mit 76 Zähnen über eine eingängige Schnecke an, so ist bei einer Ablaufdrehung der Energiespeicher in 3,26 s aufgeladen.

Die während dieser Zeit erforderliche Leistung berechnet man aus der Beziehung

$$P = M \cdot n,$$

wobei für M , das im voll aufgeladenen Zustand erforderliche Drehmoment des mechanischen Energiespeichers einzusetzen ist. Daraus ergibt sich, daß ein Aufzug am Antriebsrad des Federhauses oder am Minutenrad hohe Leistungen erfordert, die nur von Motoren, die aus dem öffentlichen Stromnetz gespeist werden, aufgebracht werden können.

Elektrische Uhren mit Motoraufzug, deren elektrische Energie einem Primärelement entnommen wird, werden im allgemeinen vom Kleinbodenrad aus angetrieben. Verwendet man das Sekundenrad als Antriebsrad, so werden Nichtlinearitäten der Antriebsfederkennlinie in der Gangleistung deutlich.

Elektrische Uhren mit Motoraufzug verursachen beim Aufziehen ein Aufzugeräusch, das sowohl aus dem Motor (Bürsten- und Rotorgeräusch) als auch aus dem Aufzuggetriebe (Schnecken- oder Rädergetriebe) stammt. Wegen seines periodischen Auftretens wirkt es bei Wohnraumuhrn und Weckuhren störend.

Die erforderliche Elektrizitätsmenge einer Uhr mit Motoraufzug läßt sich aus folgenden Angaben errechnen:

- Schaltzyklus t_s
- Übersetzungsverhältnis des Aufzuggetriebes $\frac{n_1}{n_2}$
- Motordrehzahl unter Last n_L
- Umdrehungen des Aufzuggrades n_2
- Aufzugstrom unter Last I_A

Die Berechnung ist dann erforderlich, wenn untersucht werden soll, ob eine Primärzelle für den gewählten Einsatzzweck geeignet ist.

Der Energieinhalt eines galvanischen Elements wird als Zellenkapazität Q bezeichnet und in Ah angegeben. Diese Angabe entspricht einer zeitlich begrenzten Strommenge. Während der Stromentnahme herrscht an den Anschlußklemmen die Betriebsspannung des Elements. Durch Multiplizieren der Betriebsspannung mit der Strommenge erhält man die Energiemenge in Wh. In den folgenden Berechnungen sind aus diesem Grund die Zellenkapazität und die erforderliche Strommenge gleich dem äquivalenten Energiebetrag gesetzt worden.

Die Berechnung vermittelt bei netzgespeisten Motoren einen Überblick über den jährlichen Leistungsbedarf und damit über die notwendigen Betriebskosten. Zum Berechnen des Energiebedarfs wird

1. das Übersetzungsverhältnis des Aufzuggetriebes nach folgender Beziehung berechnet:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_L}{n_2}$$

- i Übersetzungsverhältnis
 z_1 Zähnezahl des Motorritzels
 z_2 Zähnezahl des Aufzugrades
 n_L Lastdrehzahl des Motors
 n_2 Drehzahl des Aufzugrades.

Dann errechnet man

2. Aufzugzeit je Umdrehung des Aufzugrades

$$t_2 = \frac{60}{n_2}$$

t_2	n_2
s	min^{-1}

- t_2 Aufzugzeit des Aufzugrades für eine Umdrehung
 n_2 Drehzahl des Aufzugrades.

Aus der Aufzugzeit ermittelt man je Aufzug:

3. Elektrizitätsmenge je Aufzug

$$Q_s = \frac{t_2 I_A}{3600}$$

Q_s	t_2	I_A
Ah	s	A

- Q_s Elektrizitätsmenge je Aufzug
 I_A Aufzugstrom.

Wird die Uhr in einer Stunde mehrmals aufgezogen, so berechnet man aus dem zeitlichen Abstand der Aufzüge:

4. Anzahl der Schaltungen

$$N_s = \frac{60}{t_s}$$

N_s	t_s
h^{-1}	min

- N_s Schaltungen je Stunde
 t_s Schaltzyklus je min.

5. Elektrizitätsmenge je Jahr

Die im Jahr notwendige Elektrizitätsmenge läßt sich aus der jährlichen Stundenzahl, der Anzahl der Aufzüge je Jahr und der je Aufzug benötigten Elektrizitätsmenge nach folgender Beziehung ermitteln:

$$Q_a = Q_s N_s \cdot 24 \cdot 365$$

Q_a	Q_s	N_s
$\text{Ah} \cdot \text{a}^{-1}$	Ah	h^{-1}

- Q_a Elektrizitätsmenge je Jahr
 Q_s Elektrizitätsmenge je Schaltung
 N_s Schaltungen je Stunde.

Bei Verwendung von Primärelementen als Energiequelle muß die elektrische Ladung in Ah größer sein als die rechnerisch ermittelte Elektrizitätsmenge, weil die Zelle durch Selbstentladung ständig an Ladung verliert.

Beispiel:

Für eine elektrische Wohnraumuhr ist nach der Instandsetzung zu prüfen, ob die zum Antrieb gewählte Primärzelle vom Typ R 14 ausreicht, die Uhr über ein Jahr zu betreiben. Dazu wurden bestimmt: Der Schaltzyklus mit 8 min. Das Übersetzungsverhältnis des Antriebs 40:1. Der Aufzugstrom unter Last mit 0,075 A. Die Motordrehzahl unter Last mit 1200 min⁻¹.

Gegeben: $t_s = 8 \text{ min}$
 $i = 40$
 $I_A = 0,075 \text{ A}$
 $n_L = 1200 \text{ min}^{-1}$

Gesucht: Q_a und $Q_{s\min}$
(Mindestkapazität der Zelle)

Lösung:

Nach 5. ist

$$Q_a = Q_s N_s \cdot 24 \cdot 365.$$

Q_a	Q_s	N_s
Ah · a ⁻¹	Ah	h ⁻¹

Die Elektrizitätsmenge je Aufzug Q_s wird nach 3. errechnet:

$$Q_s = \frac{t_2 I_A}{3600}.$$

Q_s	t_2	I_A
Ah · a ⁻¹	s	A

Die Zeitspanne des Aufzugs ergibt sich aus 2.:

$$t_2 = \frac{60}{n_2}$$

t_2	n_2
s	min ⁻¹

und die Drehzahl des Aufzuges n_2 aus 1.:

$$n_2 = \frac{n_L}{i}.$$

Die Anzahl der Schaltungen N_s errechnet man aus 4.:

$$N_s = \frac{60}{t_s}.$$

N_s	t_s
h ⁻¹	min

Setzt man die Beziehungen in die Gleichung Q_a ein, so erhält man:

$$Q_a = \frac{1 \cdot i \cdot I_A \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{n_L \cdot 3600 \cdot t_s}$$

$$Q_a = \frac{1 \cdot 40 \cdot 0,075 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{1200 \cdot 3600 \cdot 8} = 2,737 \text{ Ah} \cdot \text{a}^{-1}.$$

Diesen Forderungen genügt nur ein Primärelement mit einem Alkali-Mangandioxid-Aufbau, dessen elektrische Ladung 3 Ah beträgt.

2.2.1.2. Indirekt angetriebene elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug

Elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug sind indirekt angetriebene elektrische Uhren, deren Energiespeicher durch den Anzugsimpuls eines Elektromagneten auf einen Klapp- oder Tauchanker aufgezogen wird.

Wegen der Größe des Ankerhubes wird die Ankerbewegung in eine Winkelbewegung umgeformt. Diese Winkelbewegung entspricht dem Aufzugsweg des Energiespeichers. Sie ist immer kleiner als 270° . Die Umformung des Ankerhubes in eine Antriebsbewegung wird durch ein Klinkenschaltwerk erreicht. Die Mitnahmeklinke bewegt sich dabei auf einem Kreisbogen und treibt über ein Klinkenrad den Aufzug an.

Als mechanische Energiespeicher verwendet man Antriebsfedern oder Triebgewichte.

Wie beim Motoraufzug wird der „Entladeweg“ des Energiespeichers zum Auslösen der Aufzugsbewegung genutzt. Beim Überschreiten eines bestimmten Ablaufweges wird ein Kontakt geschlossen und der Energiespeicher aufgeladen.

Während des Ladeimpulses wird der Stromkreis sofort geöffnet und die im System austretenden Trägheitskräfte zur Erzeugung eines bestimmten Kraftimpulses genutzt. Die beim Aufzug auftretenden Kräfte ergeben sich nach der Gleichung

$$F = a \cdot m$$

aus den hohen Beschleunigungswerten a und für die aus dem Anker und den Aufzugteilen gebildeten Massen m .

Entsprechend dem Arbeitsprinzip wird bei elektrischen Uhren mit Elektromagnetaufzug der Stromkreis schon bei Beginn der Aufzugsbewegung unterbrochen.

Die Größe des Winkelweges des Aufzuggetriebes hängt von der Größe des Aufzugimpulses und von den beschleunigten Massen des Aufzuggetriebes ab. Auf Grund dieser Funktionsweise entsteht ein Klappgeräusch, das für diesen Uhrentyp charakteristisch ist.

Wegen des geringen Aufzugweges haben elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug einen kürzeren Aufzugzyklus als elektrische Uhren mit Motoraufzug und nur ein geringes Energiespeichervermögen.

Das kurzzeitige Nachladen des Energiespeichers ist die Ursache für hohe Gangleistungen dieses Uhrentyps. Man wählt die Vorspannung der Antriebsfeder deshalb so, daß nur der geradlinige Teil der Federkennlinie genutzt wird (Bild 2.43).

Dienen Triebgewichte als Energiespeicher, so folgt das Drehmoment der Funktion $M = G \cdot I \sin \alpha$.

Die für die elektrische Uhr mit Motoraufzug angestellten energetischen Betrachtungen gelten auch für diesen Uhrentyp. Theoretisch kann das Aufzugrad, das Minutenrad, das Kleinbodenrad oder das Sekundenrad als Antriebselement verwendet und mit dem me-

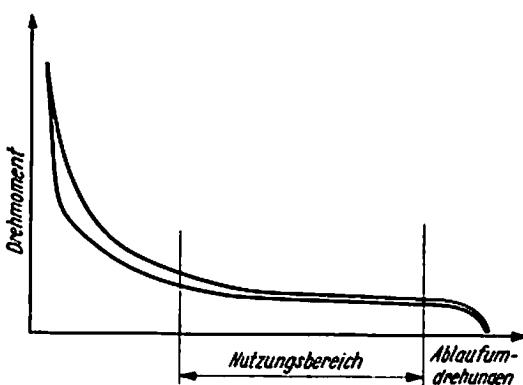


Bild 2.43. Nutzungsbereich der Federkennlinie einer Uhr mit elektromagnetischem Aufzug

chanischen Energiespeicher gekoppelt werden. Aus energetischen Gründen wählt man häufig das Kleinbodenrad.

Die Aufzugsdauer beträgt wenige ms. Zur Erzeugung der erforderlichen mechanischen Kräfte müssen der Spannungsquelle hohe, impulsförmige Ströme entnommen werden.

Aus diesem Grund haben elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug kleine ohmsche Spulenwiderstände in der Größenordnung von 1,6 bis 2,5 Ω.

Hohe Impulssströme beim Aufbau des elektromagnetischen Feldes und hohe Induktionsströme beim Unterbrechen des Stromkreises sind die Ursache für das Entstehen von „Abreißfunken“ an den Steuerkontakte. Durch die Funkenbildung ergeben sich Abbrandstellen an den Kontakten, die zum Versagen der Uhr führen können. Zur Vermeidung der Abbranderscheinungen verwendet man deshalb Kondensatoren, Widerstände oder Dioden, die parallel zur Kontaktstrecke geschaltet sind.

Die in der Spule des Elektromagneten fließenden hohen Ströme führen zu einer Durchmagnetisierung des Magnetkerns bis in den Bereich der magnetischen Sättigung. Beim Abschalten des Stroms können deshalb Erscheinungen von Restmagnetismus auftreten, die zu einem „Kleben“ des Ankers am Magnetkern führen. Zur Unterbindung dieses Nachteils führt man sog. „Abweisbleche“ zwischen Anker und Magnetkern ein, die eine Vergrößerung des Arbeitsluftspalts bewirken. Sie sichern eine rasche Entmagnetisierung des Kernwerkstoffes und verhindern das Haften des Ankers am Magnetkern. Dadurch wird verhindert, daß der Stromkreis geschlossen bleibt und die Spannungsquelle vollständig entladen wird.

Indirekt angetriebene elektrische Uhren mit Elektromagnetaufzug zeichnen sich durch Unabhängigkeit der Gangleistung vom Energieinhalt der Spannungsquelle aus.

Im Gegensatz zur Uhr mit Motoraufzug verkürzt sich der Aufzugzyklus bei zunehmendem Erschöpfungszustand der Spannungsquelle.

Ist bei erschöpfter Spannungsquelle der Innenwiderstand so weit angestiegen, daß die Ankerbewegung ausbleibt, so bleibt der Stromkreis geschlossen, und die Spannungsquelle wird weiter entladen. Das kann zum Zerfressen der Zelle und zum Austreten von Elektrolytflüssigkeit führen, die das Uhrwerk zerstört.

Das Berechnen der jährlich erforderlichen Elektrizitätsmenge setzt die Kenntnis der Aufzugsimpulsdauer voraus. Ihre Ermittlung ist ohne oszillografische Messung nicht möglich.

Nach dem Bestimmen dieser Größe kann die Elektrizitätsmenge berechnet werden. Dazu ermittelt man:

1. Stromaufnahme durch Messen oder Berechnen

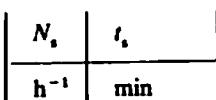
$$I_A = \frac{U_L}{R_{sp}}$$

I_A Aufzugstrom
 R_{sp} ohmscher Widerstand der Spule
 U_L Zellenspannung unter Last.

2. Anzahl der Aufzüge je Stunde

$$N_s = \frac{1 \cdot 60}{t_s}$$

N_s Aufzüge je Stunde
 t_s Dauer des Schaltzyklus.



3. Elektrizitätsmenge je Aufzug

$$Q_s = I_A t_A \frac{1}{3600}$$

Q_s Elektrizitätsmenge je Aufzug
 I_A Aufzugstrom
 t_A Impulsdauer.

Q_s	I_A	t_A
Ah	A	s

4. Notwendige Energie im Jahr

$$Q_a = Q_s N_s \cdot 24 \cdot 365$$

Q_a Elektrizitätsmenge je Jahr.

Q_s	Q_a	N_s
Ah · a ⁻¹	Ah	h ⁻¹

Auch hier gilt, daß die errechnete notwendige Elektrizitätsmenge im Jahr kleiner sein muß als die der verwendeten Spannungsquelle.

Beispiel:

Der Gleichstromwiderstand einer elektrischen Wohnraumuhr mit Elektromagnetaufzug ist 3Ω . Die Zellenspannung des vorgeschriebenen Primärelements R 14 unter Last beträgt $1,4 \text{ V}$. Mittels oszillografischer Messung wurde die Dauer des Aufzugimpulses mit $0,02 \text{ s}$ ermittelt. Die Dauer des Schaltzyklus wurde mit 70 s gestoppt.

Reicht die eingesetzte Spannungsquelle zum Betrieb der Uhr für 1 Jahr aus?

Gegeben: $R_{sp} = 3 \Omega$

Gesucht: Q_a

$$I_A = 0,02 \text{ s}$$

$$U_L = 1,4 \text{ V}$$

$$t_s = 70 \text{ s}$$

Lösung:

Nach 4. ist die notwendige Elektrizitätsmenge je Jahr

$$Q_a = Q_s N_s \cdot 24 \cdot 365$$

Q_s	Q_a	N_s
Ah · a ⁻¹	Ah	h ⁻¹

Die je Aufzug notwendige Elektrizitätsmenge ergibt sich nach 3.

$$Q_s = \frac{I_A t_A}{3600}$$

I_A	t_A
A	s

und der Aufzugstrom aus 1.

$$I_A = \frac{U_L}{R_{sp}}$$

U_L	R_{sp}
V	Ω

Die Anzahl der Aufzüge je Stunde erhält man nach 2.

$$N_s = \frac{1 \cdot 60}{t_s}$$

t_s
min

Setzt man die aus 3., 1. und 2. gefundenen Werte in 4. ein, so erhält man:

$$Q_a = \frac{U_L I_A \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{R_{sp} t_s \cdot 3600}$$

$$Q_a = \frac{1,4 \cdot 0,02 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{3 \cdot 1,166 \cdot 3600}$$

$$Q_a = 1,168 \text{ Ah} \cdot \text{a}$$

Zum Antrieb der Uhr muß eine Spannungsquelle mit einer elektrischen Ladung von 1,5 Ah verwendet werden. Das eingesetzte Primärelement ist für die Uhr verwendbar.

2.2.2. Elektrische Uhren mit schwingergesteuertem Antrieb

Elektrische Uhren mit schwingergesteuertem Antrieb sind Uhren, bei denen der Antrieb des Räderwerks der Uhr durch den Schwinger ausgelöst wird. Der Schwinger gibt dabei keine Antriebsleistung ab und schwingt weitgehend unbelastet.

Das Wirkprinzip dieses Uhrentyps beruht auf der Nutzung der Erkenntnisse über die freie Schwingung, nach denen die Genauigkeit eines Schwingers um so größer ist, je weniger sein Isochronismus durch mechanische Stöße gestört wird.

Mechanische Stöße entstehen durch Zufuhr von Energie zur Aufrechterhaltung der Schwingung und bei Energieentnahme. Führt man einem Unruhschwinger die Antriebsenergie im Augenblick seiner höchsten Winkelgeschwindigkeit, also im Nulldurchgang, zu, so wird sein Isochronismus nicht gestört. Entnimmt man ihm in dieser Schwingungsphase Energie, so entsteht ebenfalls keine Störung.

Praktisch ist dieser Zustand jedoch nicht zu verwirklichen. Sind der zugeführte und der entnommene Energiebetrag gleich groß, so ergeben sich nur geringfügige Isochronismustörungen.

Von diesen Eigenschaften des Unruhschwingers ausgehend wurden Uhren entwickelt, deren Schwinger mit einem stets gleichbleibenden Energiebetrag versorgt wird. Diese Energiemenge wird dem eigentlichen Antrieb der Uhr für das Räderwerk entnommen und in einer Biegefeder zwischengespeichert. Der Entladevorgang der Feder wird vom Unruhschwinger selbst ausgelöst. Die sich entspannende Biegefeder steuert dabei gleichzeitig die Auslösung eines Antriebsimpulses auf das Räderwerk der Uhr und ihre erneute eigene Aufladung.

Man unterscheidet zwei grundsätzliche Ausführungsformen dieses Uhrentyps:

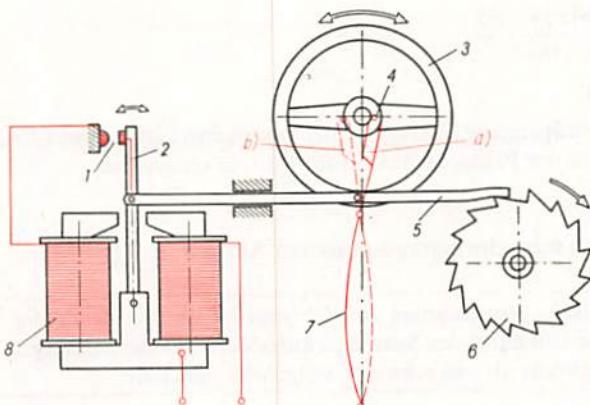
- Uhren mit Kontaktauslösung für den Antriebsimpuls des Räderwerks
- Uhren mit Federauslösung für den Antriebsimpuls des Räderwerks.

Uhren der ersten Art arbeiten mit einem polarisierten Relais, das bei Kontaktenschluß einen Schubimpuls über eine Schaltklinke und ein Schalttrad auf das Räderwerk abgibt. Der prinzipielle Aufbau dieser Uhren ist im Bild 2.44 dargestellt.

Uhren mit Federauslösung enthalten einen transistorgesteuerten Motor, der über einen Nocken sowohl die Feder für den Antrieb des Schwingers als auch die Feder für den Antrieb des Räderwerks auflädt. Dadurch erhalten beide einen konstanten Antriebsimpuls. Im Bewegungsablauf wird dabei der Antriebsimpuls für das Räderwerk durch den Schwinger ausgelöst.

Die Gangleistung dieses Uhrentyps ist nur von der Güte des mechanischen Schwingungssystems abhängig. Aus diesem Grund erreichen Uhren mit schwingergesteuertem Antrieb Ganggenauigkeiten zwischen 5 und 2 s/d. Das entspricht einer Genauigkeit von $2 \cdot 10^{-5}$.

Bei Uhren mit kontaktgesteuertem Antrieb des Räderwerks hängen Funktionssicherheit und Lebensdauer des Antriebs von der Güte der Kontakte ab.



a), b) Stellungen der
Totpunktfehler
1 Kontakt; 2 Anker;
3 Unruh; 4 Hebelstift;
5 Fortschaltklinke; 6 Schalt-
rad; 7 Totpunktfehler;
8 polarisiertes Relais

Bild 2.44. Wirkprinzip einer elektrischen Uhr mit schwingergesteuertem Antrieb

Zum Unterdrücken von Funken an den Kontakten und zum Vermindern der Kontakt erosion sind diese mit Funkenlöschmitteln ausgerüstet. Als Funkenlöschmittel werden Widerstände, Kondensatoren oder Dioden eingesetzt, die den Ausschaltspannung stoß unterdrücken oder abschwächen.

Entsprechend dem Aufbau und der Wirkungsweise dieser Uhren arbeitet die Klinkenfortschaltung je nach Schwingfrequenz auf ein Schaltrad, das die Fortschaltimpulse auf das Sekundenrad überträgt. Die Übersetzung erfolgt entgegen dem üblichen Energiefluß bei Uhren vom Schnellen in das Langsame. Aus diesem Grund ist das Antriebsmoment am Schaltrad klein. Die erforderliche Elektrizitätsmenge kann aus der Dauer des Fortschaltimpulses, der Antriebsspannung und dem Impulsstrom ermittelt werden:

1. Impulsstrom

$$I_i = \frac{U_L}{R_{sp}}$$

I_i Impulsstrom
 U_L Spannung unter Last
 R_{sp} ohmscher Spulenwiderstand.

2. Elektrizitätsmenge des Impulses

$$Q_s = I_i t_i$$

t_i Impulsdauer.

3. Elektrizitätsmenge je Stunde

$$Q_h = Q_s f \cdot 3600 ,$$

danach je Jahr:

$$Q_a = Q_h \cdot 24 \cdot 365 .$$

Q_h	f
Ah	s^{-1}

Beispiel:

Eine schwingergesteuerte Wohnraumuhr nimmt bei einer Lastspannung von 1,45 V einen

Impulsstrom von 0,5 mA auf. Die Impulsdauer beträgt 12 ms bei einer Schwingfrequenz von 2,5 Hz.

Wie groß ist die jährlich benötigte Elektrizitätsmenge?

Gegeben: $I_i = 0,5 \text{ mA}$
 $t_i = 0,012 \text{ s}$
 $f = 2,5 \text{ s}^{-1}$
 $U_L = 1,45 \text{ V}$

Gesucht: Q_a

Lösung:

$$\begin{aligned}Q_a &= Q_b \cdot 24 \cdot 365 \\Q_b &= Q_s f \\Q_s &= I_i t_i \\Q_a &= I_i t_i f \cdot 24 \cdot 365 \\Q_a &= 0,005 \cdot 0,012 \cdot 2,5 \cdot 24 \cdot 365 \\Q_a &= 1,314 \text{ Ah}.\end{aligned}$$

2.2.3. Direkt angetriebene elektrische Uhren

Uhren, deren Zeitnormal direkt aus der elektrischen Energiequelle gespeist wird und gleichzeitig Antriebsglied des Uhrwerks ist, bezeichnet man als direkt angetriebene elektrische Uhren.

Ihre Amplitude und damit ihre Gangleistung ist vom Energieinhalt der Spannungsquelle abhängig.

Mechanische Uhren und indirekt angetriebene elektrische Uhren haben den Nachteil, daß während der Hemmungsphase des Uhrwerks die gesamte, im Energiespeicher vorhandene Energie als Druck auf die Lagerungen wirkt.

Das erfordert Öle hoher Schmier- und Tragfähigkeit, die ein zeitweises Verschweißen von Lagerzapfen und Lager verhindern sollen. Bei hochwertigen Uhren verwendet man darum künstlichen Rubin als Lagerwerkstoff. Trotzdem kann es bei ungünstiger Druckverteilung oder unzureichender Schmierung zum Fressen oder zum Einalufen der Lagerzapfen kommen. Der Energiebedarf solcher Uhren ist wegen der hohen Reibungsverluste besonders groß. Auch bei qualitativ guten Uhren ist es notwendig, relativ hohe Energiebeträge zur Überwindung der Reibung beim Beschleunigen des Räderwerks aus der Hemmungsphase aufzuwenden. Kehrt man den Energiefluß eines Uhrwerks um und überträgt dem zeitbestimmenden Glied, der Unruh oder einem anderen mechanischen Schwingen, die Antriebsfunktion, so ist das angetriebene folgende Räderwerk in der Hemmungsphase frei von Druckkräften. Die zum Beschleunigen des Rädergetriebes notwendigen Energiemengen bleiben klein. Der in den Lagerungen auftretende Verschleiß verringert sich und erübrigt den Einsatz teurer Lagerwerkstoffe. Die Schmierungsprobleme vereinfachen sich.

Im Gegensatz zu den mechanischen Uhren liegt die Zeitanzeige (das Zeigerwerk) nicht mehr im Nebenfluß der Kraft, sondern der Kraftfluß wirkt direkt. Primärelement — Schwingmotor — Rädergetriebe — Zeitanzeige bilden eine geradlinige Kette. Die Unterschiede der beiden Uhrwerktypen zeigen Bilder 2.45 und 2.46.

Durch Verwendung des Schwingungssystems als Antriebsglied, als Schwingmotor, wird der Isochronismus des Schwingers gestört. Durch die Zufuhr von Energie vor der Mittellage der Unruh und die gleichzeitige Abnahme mechanischer Energie hält

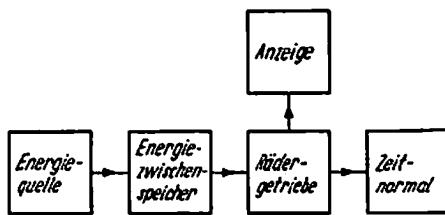


Bild 2.45. Übersichtsschaltplan einer indirekt angetriebenen elektrischen Uhr

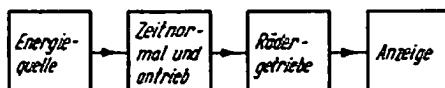


Bild 2.46. Übersichtsschaltplan einer direkt angetriebenen elektrischen Uhr

man die Störungseinflüsse auf die Unruh klein und erreicht gute Gangleistungen. Die Wirkung der Energiezufuhr hat dabei den gleichen Charakter wie ein mechanischer Stoß durch den Anker einer herkömmlichen (mechanischen) Uhr.

Wird die zum Antrieb der Uhr erforderliche Energie einem Primärelement entnommen, so folgt die Amplitude des Schwingmotors der Entladekennlinie. Damit wird die Schwingeramplitude eine Funktion der Lastspannung U_L :

$$\alpha = f(U_L)$$

und die Gangleistung spannungsabhängig.

Hohe Gangleistungen sind nur dann erreichbar, wenn spezielle Primärelemente mit geradlinigem Verlauf der Entladekennlinie verwendet werden, z. B. Silberoxid- oder Quecksilberoxidzellen.

Werden diese Voraussetzungen erfüllt, dann erreichen diese Uhren Gangleistungen von etwa 10 s/d.

Eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der direkt angetriebenen elektrischen Uhren gibt Tafel 2.2.

Tafel 2.2. Vor- und Nachteile direkt angetriebener elektrischer Uhren

Merkmale	Vorteile	Nachteile
Elektromagnetischer Antrieb		
Gangdauer	1 ... 2 Jahre, von Energiequelle abhängig	Wechsel der Energiequelle erforderlich spannungsabhängig
Ganggenauigkeit	—	—
Kontaktssteuerung	idealer Schalter	Erosionsgefahr, Korrosionsgefahr, Kontaktschutz notwendig
Energiebedarf	gering	—
Weichmagnetischer Anker	einfacher Aufbau der Unruh	empfindlich gegen äußere Magnetfelder
Elektromagnet mit hoher Induktivität	ortsfeste Spule	energiereicher Öffnungsfunktion am Kontakt

Tafel 2.2. (Fortsetzung)

Merkmale	Vorteile	Nachteile
Elektrodynamischer Antrieb		
Gangdauer	1 ... 2 Jahre, von Energiequelle abhängig	Wechsel der Energiequelle erforderlich
Ganggenauigkeit	—	spannungsabhängig
Kontaktsteuerung	ideal Schalter	Erosionsgefahr, Korrosionsgefahr, Kontaktschutz bedingt notwendig
Energiebedarf	gering	—
Unruh mit eisenfreier Antriebsspule	unempfindlich gegen äußere Magnetfelder	Spannungszuführung zur Unruh erforderlich
Dauermagnetsystem mit hoher Koerzitivkraft	unempfindlich gegen äußere Magnetfelder	erhöhter Aufwand am Antriebsaggregat
Antriebsspule geringer Induktivität	kleiner Öffnungsfunktion am Kontakt	Formspule erforderlich
Energiequelle begrenzter Kapazität	—	Uhrwerk nicht wartungsfrei

Die jährlich erforderliche Elektrizitätsmenge direkt angetriebener elektrischer Uhren wird in Ah angegeben, da Primärelemente nach der in ihnen enthaltenen Elektrizitätsmenge gekennzeichnet sind. Dieser Wert lässt sich nach zwei Methoden errechnen:

- nach der Bestimmung der Stromaufnahme mit einem Strommesser
- nach der Methode der Impulsauswertung, indem aus Impulsspannung, Spulenwiderstand und Impulsdauer die Elektrizitätsmenge je Impuls errechnet wird. Dieser Wert wird mit der Zeitdauer eines Jahres multipliziert.

Für die Berechnung nach der 1. Methode ergibt sich die jährlich benötigte Elektrizitätsmenge aus:

$$Q_a = I_{\text{eff}} \cdot 24 \cdot 365$$

$$\left| \begin{array}{c} Q_a \\ I_{\text{eff}} \end{array} \right| \begin{array}{c} t \\ \text{Ah} \cdot \text{a}^{-1} \end{array} \right| \begin{array}{c} I_{\text{eff}} \\ \text{mA} \end{array}$$

Q_a jährliche Elektrizitätsmenge
 I_{eff} mit dem Strommesser ermittelte Stromaufnahme.

Nach der 2. Methode errechnet man die jährliche Elektrizitätsmenge:

$$Q_a = I_i t_i f \cdot 24 \cdot 365$$

$$\left| \begin{array}{c} Q_a \\ I_i \\ t_i \\ f \end{array} \right| \begin{array}{c} I_i \\ \text{Ah} \cdot \text{a}^{-1} \end{array} \right| \begin{array}{c} t_i \\ \mu\text{A} \end{array} \right| \begin{array}{c} f \\ \text{s} \end{array} \right| \begin{array}{c} I_i \\ \text{s}^{-1} \end{array}$$

I_i Impulstrom
 t_i Impulsdauer
 f Frequenz des Schwingers bzw. Impulse.

Beispiel 1

Mit dem Strommesser wurde die Stromaufnahme einer direkt angetriebenen elektrischen

Uhr mit $12 \mu\text{A}$ gemessen. Die Lastspannung betrug bei der Messung $1,45 \text{ V}$. Wie groß ist die erforderliche Elektrizitätsmenge für ein Jahr Betriebsdauer?

Gegeben: $I_{\text{eff}} = 12 \mu\text{A}$

Gesucht: Q_a

Lösung:

$$Q_a = I_{\text{eff}} \cdot 24 \cdot 365$$

$$Q_a = 12 \cdot 24 \cdot 365$$

$$Q_a = 105120 \mu\text{Ah}$$

$$Q_a = 105,120 \text{ mAh}.$$

Geeignet ist ein Primärelement mit einer Elektrizitätsmenge von 120 mAh .

Beispiel 2

Die Dauer des Schaltimpulses einer elektrischen Uhr wurde durch oszillografische Messung mit 20 ms bestimmt. Die Lastspannung und damit die Impulshöhe war während der Messung $1,45 \text{ V}$. Der Spulenwiderstand beträgt $4 \text{ k}\Omega$, die Frequenz $f = 4 \text{ Hz}$.

Wie groß ist die erforderliche jährliche Elektrizitätsmenge?

Gegeben: $t_i = 0,020 \text{ s}$

Gesucht: Q_a

$$I_i = 375 \mu\text{A}$$

$$f = 4 \text{ s}^{-1}$$

Lösung:

$$Q_a = I_i t_i f \cdot 24 \cdot 365$$

$$Q_a = 0,020 \cdot 375 \cdot 4 \cdot 24 \cdot 365$$

$$Q_a = 262800 \mu\text{Ah}$$

$$Q_a = 262,8 \text{ mAh}.$$

2.2.4. Elektrische und elektronische Uhren mit zentralem Zeitnormal

Elektrische Uhren mit zentralem Zeitnormal sind zeitanzeigende Geräte und Anlagen, deren zeibestimmendes Element räumlich von der Zeitanzeige getrennt ist.

Die zeitbestimmende Frequenz wird über Leitungen oder drahtlos, über Funk, der Anzeige zugeführt.

Autonome Uhren mit eigenem Zeitnormal zeigen, wenn sie zum gleichen Zeitpunkt gestartet wurden, nach kurzer Betriebszeit unterschiedliche Zeiten an. Das ist auf die Toleranzen ihrer Zeitnormale zurückzuführen. Sie sind deshalb dort nicht einsetzbar, wo die Betriebsorganisation die Übereinstimmung der Zeitanzeige erfordert. Diese Forderung besteht bei allen Verkehrsbetrieben, öffentlichen Uhrenanlagen und in Betrieben. Verwendet man nur ein Zeitnormal für alle Anzeigen, so lässt sich die Forderung nach stets gleicher Zeitanzeige bei gleichzeitigem Start aller Zeitanzeigen erfüllen. Die Genauigkeit aller mit diesem Zeitnormal verbundenen „Nebenuhren“ entspricht der Genauigkeit dieses Normals.

Da für alle Zeitanzeigen nur ein „Zeitnormal“ erforderlich ist, verringert sich der konstruktive und technische Aufwand für die zeitanzeigenden Einrichtungen, die „Nebenuhren“. Sie enthalten deshalb nur Elektromotoren oder elektronische Wandler, deren Drehbewegung oder Umsetzungsfunktion der steuernden Frequenz direkt proportional ist. Bei Elektromotoren wird die frequenzproportionale Drehzahl durch ein Rädergetriebe

in eine analoge Zeitinformation umgesetzt. Bei elektronischen Wandlern formt man die Steuerfrequenz in eine digitale Zeitinformation um.

Als zentrales Zeitnormal verwendet man

- Sekundenpendel
- Quarzgeneratoren
- Atomuhren
- die Netzfrequenz.

Während die ersten drei Frequenzgeneratoren speziellen Uhrenanlagen zugeordnet sind, hat sich die Netzfrequenz als Zeitnormal für Wohnraumuhren und Weckuhren durchgesetzt.

Nach ihrem Aufbau und dem zur Zeitanzeige verwendeten Wechselstromsynchrongenerator bezeichnet man sie als Synchronuhren. Synchronuhren sind direkt angetriebene elektrische Uhren. Ihre Zeitbasis ist die Netzfrequenz 50 Hz. Der Synchronmotor wandelt die Frequenz des Wechselstroms in eine zeitproportionale Drehzahl um, die von einem Rädergetriebe in Sekunden, Minuten und Stunden unterstellt wird.

Da die Netzfrequenz wegen der stark wechselnden Belastung des öffentlichen Netzes nicht konstant ist und nach dem Standard um $1\% = 14,4 \text{ min}$ schwanken darf, ist sie für eine genaue Zeitanzeige nicht geeignet.

Zeitanlagen in Betrieb werden darum mit Sekundenpendeluhrn betrieben. Solche Anlagen bestehen aus der Sekundenpendeluhr als Hauptuhr und Zeitnormal und aus den zeitanzeigenden Schrittschaltwerken als Nebenuhren. Sie sind untereinander durch Leitungen verbunden. Die Hauptuhr liefert Minutenimpulse, die die Nebenuhren im Minuten-Schritt weiterschalten. Die Minutenimpulse werden von der Hauptuhr als bipolare Impulse (Bild 2.47) mit einer Kontaktseinrichtung erzeugt, die als Polwedeschalter aufgebaut ist. Da der Hauptuhr keine mechanische Energie zum Antrieb der Nebenuhren entnommen wird, ist die Genauigkeit der Uhrenanlage nicht von der Anzahl der zu steuernden Nebenuhren abhängig.

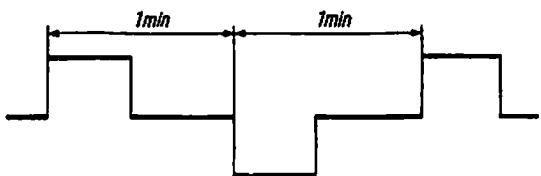


Bild 2.47. Impulsfolge einer Hauptuhr

Durch Verwendung von Sendern, die in Sekunden- oder Minutenimpulsen Signale abstrahlen, ist es möglich, regionale Zeitanlagen aufzubauen. Das Zeitnormal für diese Sekunden- oder Minutenimpulse ist in diesem Fall ein Quarz oder eine Atomuhr. Zum Empfang der Signale ist ein Empfänger erforderlich, der fest auf die Frequenz des Zeitzeichensenders abgestimmt ist. Die Sendersignale werden im Zeitzeichenempfänger entschlüsselt, verstärkt und zu akustischen, visuellen oder mechanischen Informationen umgeformt (Bild 2.48).

Steuert man den Energiefluß einer Uhrenanlage durch die Impulsfolge eines Zeitzeichenempfängers, indem man den Polwedeschalter durch die Impulsfolge antreibt, so erhält man eine funkfernsteuerte Uhrenanlage. Ihre Genauigkeit entspricht der Genauigkeit

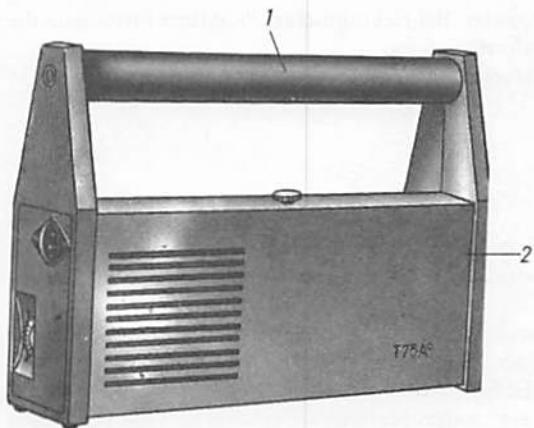


Bild 2.48. Zeitzeichenempfänger

1 Ferritantenne; 2 Empfänger

der Senderuhr und der anderer nach dem gleichen Prinzip arbeitenden Uhrenanlagen, auch wenn sie nicht durch ein Leitungsnetz mit diesen verbunden ist.

Zeitzeichenempfänger, die die Zeitinformation direkt am Empfänger anzeigen, bezeichnet man als „funkferngesteuerte Uhren“.

Solche Empfänger empfangen die Zeitinformation als codierte Impulsfolge, die die Tageszeit und das vollständige Datum enthält. Sie wird im Empfänger entschlüsselt und in digitaler Form (Ziffern) angezeigt. Die Zeitdarstellung wird durch elektronische Mittel verwirklicht. Da der Sender die Zeitinformation im Sekundenrhythmus ausstrahlt, haben „funkferngesteuerte Uhren“ Sekundenanzeigen. Werden durch atmosphärische Störungen oder andere Störeinflüsse die codierten Impulsfolgen verstümmelt, so wird die gesamte Zeitinformation unterdrückt. Nach dem Ausbleiben der Störung zeigen solche Uhren auf Grund ihres Arbeitsprinzips immer die genaue Zeit an. Ihre Zeitanzeige muß nicht korrigiert werden!

Synchronuhren, Nebenuhren von Uhrenanlagen und funkferngesteuerte Uhren als Uhren mit zentralem Zeitnormal und Zeitimpulsteuerung müssen nach dem Ausfall ihres Zeitnormals neu auf die richtige Zeit eingestellt werden.

Uhrenanlagen enthalten aus diesem Grund Korrekturteinrichtungen, die mittels einer schnelleren Impulsfolge eine gleichzeitige und schnelle Korrektur der Zeitanzeige ermöglichen.

Synchronuhren, die mit einem Reserveuhrwerk versehen sind, bleiben bei Netzausfall nicht stehen. Es wird als stillstehendes oder mitlaufendes mechanisches Uhrwerk ausgeführt, dessen Zeitnormal während des Netzausfalls die Genauigkeit der Uhr bestimmt. Synchronuhren mit einem Reserveuhrwerk haben selbstanlaufende Synchronmotoren.

Funkferngesteuerte Uhrenanlagen sind gegen atmosphärische Störungen und Störungen aus elektrischen Geräten empfindlich. Sie erfordern, um Ausfälle während der Störunterdrückung zu vermeiden, einen eigenen Frequenz- und Impulsgenerator, der die Senderfunktion während der Störung übernimmt. Dieser Frequenzgenerator wird gewöhnlich durch den Sender synchronisiert und hat die Funktion des Reserveuhrwerks einer Synchronuhr.

Die Vor- und Nachteile von Uhren mit zentralem Zeitnormal sind in Tafel 2.3 zusammengefaßt.

Tafel 2.3. Vor- und Nachteile der Uhren mit zentralem Zeitnormal

Merkmale	Vorteile	Nachteile
Antrieb und Steuerung der NU durch gemeinsame Hauptuhr als Pendeluhr mit Kontaktssystem	Alle NU zeigen dieselbe Zeit wie die Hauptuhr an. Genauigkeit der Anzeige hängt nur von steuernder Hauptuhr ab	Leitungssystem zwischen den NU und der HU notwendig. Bei Ausfall der HU fällt die gesamte Anlage aus
NU werden durch Impulse wechselnder Polarität gespeist	Durch wechselnde Impulspolarität werden von außen einwirkende Störungen in der Zeitanzeige nicht wirksam	Nebenuhren müssen polarisierte Schrittschalter sein. Durch HU-Kontakt ist mögliche Anzahl der Nebenuhren begrenzt. HU muß mit einer Polwendeeinrichtung versehen sein
Nebenuhren weisen polarisierte Schrittschaltsysteme auf	Die zum Antrieb notwendige Energie bleibt klein	erhöhter Aufwand durch Polarisierungs-magnet am Schrittschalter
Gleichspannungsquelle als Antriebs-energiespeicher	Anlage bleibt bei Ausfall des öffentlichen Netzes betriebsfähig	Gleichspannungsquelle ist nicht wartungsfrei

2.3. Frequenznormale elektrischer Uhren

Die Frequenznormale indirekt angetriebener elektrischer Uhren unterscheiden sich nicht von den Frequenznormalen mechanischer Uhren. Es sind im allgemeinen Pendel oder Unruhschwinger.

Die Frequenznormale indirekt angetriebener elektrischer Uhren sind als Schwingmotoren aufgebaut. Sie haben die Aufgabe, mechanische Energie zeitproportional an ein Rädergetriebe abzugeben. Die durch die mechanische Belastung des Schwingers auftretende Isochronismusstörung soll dabei kleiner als bei einer mechanischen Uhr sein.

2.3.1. Kontaktgesteuerte Pendel

Kontaktgesteuerte Pendel sind einfache Schwingermotoren direkt angetriebener elektrischer Uhren, denen durch Kontaktanordnungen vor dem Erreichen der Mittellage des Pendels mechanische Energie durch die Umformung elektrischer Energie zugeführt wird.

Die Energiezufuhr entspricht einem mechanischen Stoß, wie er bei mechanischen Pendeluhrn durch die Hemmung auf das Pendel ausgeübt wird. Die durch den Beschleunigungsimpuls und die Pendelmasse entstehende Kraft wird zu einem Teil zur Überwindung der Reibungsverluste des Pendels und zum anderen Teil zum Fortschalten des Rädergetriebes der Zeitanzeige verwendet. Die Entnahme der Fortschalteenergie erfolgt vor und in der Mittellage des Pendels, damit die Beeinflussung des Isochronismus klein bleibt. Durch Justage von Kontaktanordnung und Fortschalteeinrichtung läßt sich die Ganggenauigkeit des kontaktgesteuerten Pendels beeinflussen.

Man unterscheidet zwei Bauarten kontaktgesteuerter Pendel:

- Pendel mit schwingendem Magnetsystem
- Pendel mit schwingender Antriebsspule.

Pendel mit schwingendem Magnetsystem tragen einen Dauermagneten als Pendelgewicht. Der Dauermagnet kann die Form eines gekrümmten Stabes, der in eine eisenfreie Spule eintaucht, oder die Form einer flachen Scheibe haben, die an einer eisenfreien Spule vorbeischwingt (Bild 2.49).

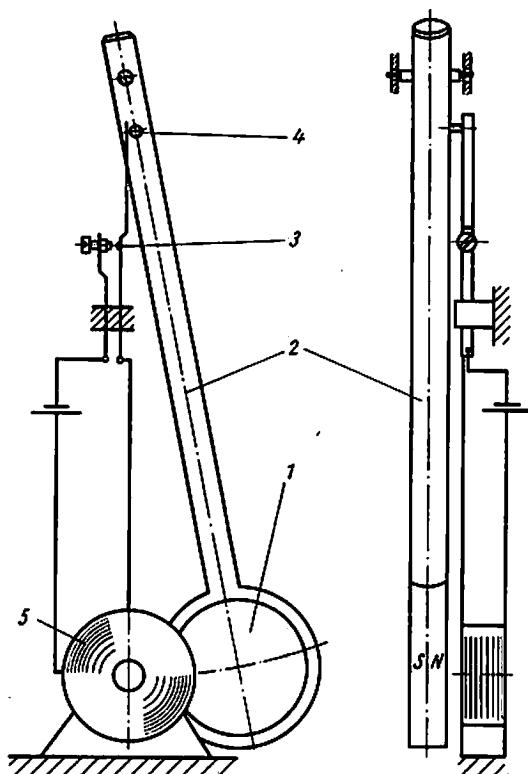


Bild 2.49. Kontaktgesteuertes Pendel mit schwingendem Magnetsystem

1 Dauermagnet; 2 Pendel; 3 Schaltkontakt (Schließer); 4 Schaltstift; 5 Spule

Die Magnete sind axial magnetisiert. Der Antrieb des Magneten erfolgt durch das elektromagnetische Feld der Spule. Diese wird mit einer in der Ruhelage offenen Kontaktanordnung (Schließer) vom Pendel über die entsprechend bemessene Kontaktfeder kurz

vor Erreichen der Pendelmittellage ein- und kurz nach dem Verlassen der Pendelmittellage ausgeschaltet.

Nach den für die freie Pendelschwingung geltenden Gesetzen erfolgt die Fortschaltung des im Bild nicht gezeigten Räderwerkes im Augenblick der höchsten Pendelgeschwindigkeit (höchste Pendelenergie) in der senkrechten Stellung des Pendels. Der Antriebsimpuls erfolgt meist als Abstoßungsimpuls.

Pendel mit schwingender Antriebsspule sind die Umkehrung des Prinzips eines Pendels mit schwingendem Magnetsystem. Die schwingende Antriebsspule ist im Pendelgewicht angeordnet und schwingt durch ein ortsfestes Magnetfeld. Aus konstruktiven Gründen ist die Antriebsspule eine Flachspule. Das Magnetsystem bildet einen geschlossenen Magnetkreis (Bild 2.50). Die Spule ist über eine Kontakteinrichtung mit dem Antriebstromkreis verbunden. Die Kontakteinrichtung wird vom Pendel gesteuert und schaltet die Spule vor der Mittellage des Pendels ein. Der Ein- und Ausschaltvorgang entspricht dem beim Pendel mit schwingendem Magnetsystem beschriebenen Rhythmus.

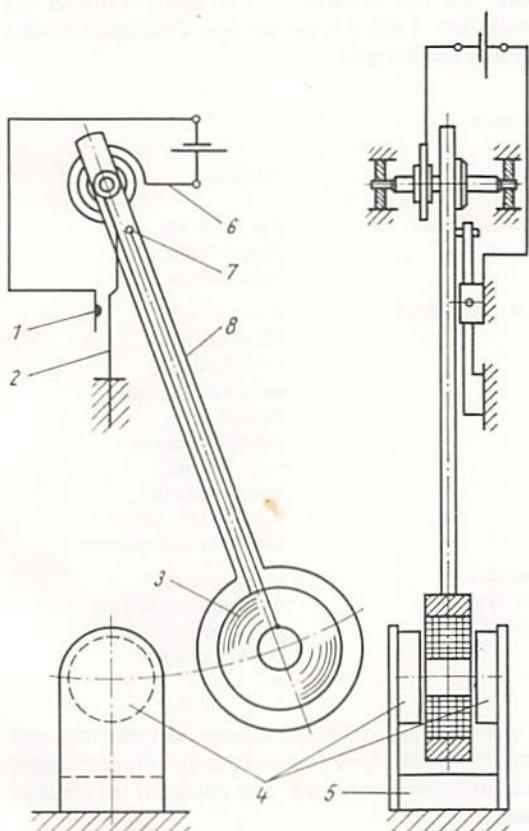


Bild 2.50. Kontaktgesteuertes Pendel mit schwingender Antriebsspule

1 Kontakt; 2 Kontaktfeder; 3 Antriebsspule; 4 Dauermagnet; 5 Magnetjoch; 6 Stromleiterpirale; 7 Kontaktstift; 8 Pendel

Pendel mit schwingender Antriebsspule können auch eine Spule mit Eisenkern enthalten. Das durch den Eisenkern gebündelte Magnetfeld der Spule führt zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades des Schwingermotors. Mit dem Eisenkern der Spule ver-

größert sich auch die Spuleninduktivität und damit die Gefahr einer höheren Kontaktbelastung beim Ausschalten des Antriebsimpulses durch die Induktionsspannung. Der Kontaktverschleiß nimmt zu.

Pendel mit schwingendem Magnetsystem, Antriebsspule und Eisenkern unterliegen dem Einfluß äußerer Magnetsfelder oder umgebender Eisenmassen. Sie lassen sich in ihrem Isochronismus stören, wenn elektrische Leitungen mit hoher Strombelastung oder starke Dauermagnetsfelder auf sie wirken.

Pendel mit schwingender eisenfreier Antriebsspule lassen sich in ihrem Isochronismusverhalten durch elektromagnetische Felder nicht beeinflussen. Während der Antriebsphase befindet sich die Spule in einem geschlossenen Magnetkreis, der von außen nicht beeinflußt werden kann.

In ihrem Aufbau sind Pendel mit schwingendem Magnetsystem unkompliziert. Es treten keine sich bewegenden elektrischen Leiter auf. Die Instandhaltung ist einfach.

Pendel mit schwingender Antriebsspule erfordern wenigstens eine Stromzuführungs feder an der Pendelachse. Zum Schutz der schwingenden Antriebsspule müssen mechanische Kapselungen angebracht werden, die ein Beschädigen der Spule während der Bewegung und Instandhaltung ausschließen. Tafel 2.4 enthält eine Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der beschriebenen Pendeltypen.

Tafel 2.4. Vor- und Nachteile der Pendeltypen

Pendeltyp	Vorteile	Nachteile
Pendel mit schwingendem Magnetsystem	einfacher Aufbau	durch fremde Magnetsfelder beeinflußbar
Pendel mit eisengefüllter Schwingspule	guter Wirkungsgrad	durch fremde Magnetsfelder beeinflußbar; empfindlich gegen mechanische Beschädigungen; hohe Kontaktbelastung beim Ausschalten durch hohen Ausschaltstrom
Pendel mit eisenfreier Schwingspule	unempfindlich gegen äußere Magnetsfelder	komplizierter Aufbau; empfindlich gegen mechanische Beschädigungen

Kontaktgesteuerte Pendel können während jeder Halbschwingung oder nur während jeder Vollschwingung mit Energie versorgt werden. Anordnungen mit nur einem Energieimpuls je Schwingung sind sparsamer im Energieverbrauch und erreichen bei gleicher Zellenkapazität eine längere Gangdauer.

Wird nur ein Energieimpuls je Schwingung zugeführt, so wird dem Pendel auch nur während dieses Impulses mechanische Energie entzogen. Das Räderwerk wird je Vollschwingung um nur einen Schritt fortgeschaltet.

Die Kontakteinrichtungen zur Energieversorgung des Pendels sind entsprechend der Art der Energiezufuhr unterschiedlich ausgelegt.

Führt man während jeder Halbschwingung einen Stromimpuls zu, so vereinfachen sich die Kontakteinrichtungen in ihrem Aufbau.

Die Impulsgabe je Halbschwingung erfordert eine optimale Impulseinstellung. Einfache Lösungen mit festem Kontakt 4 verfügen nicht über Mittel zur Impulsoptimierung. Eine derartige Prinziplösung zeigt Bild 2.51.

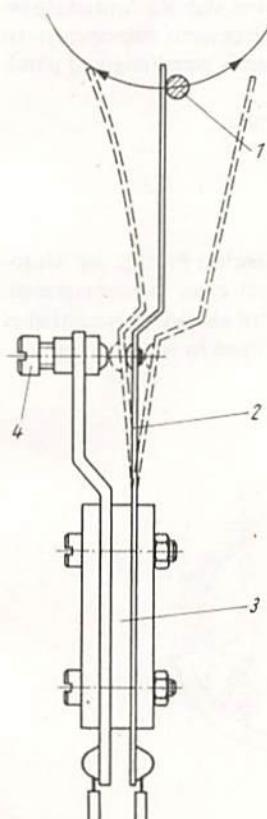


Bild 2.51. Kontakteinrichtung eines Pendels ohne Mittel zur Impulsoptimierung

1 Kontaktstift am Pendel; 2 Kontaktfeder; 3 Isolationsblock; 4 Kontakteinstellschraube

2.3.2. Kontaktgesteuerte Drehschwinger

Kontaktgesteuerte Drehschwinger sind Schwingermotoren, deren Schwingbewegung durch impulsförmige Energiezufuhr aufrechterhalten wird.

Die impulsförmige Energiezufuhr erfolgt durch Kontakteinrichtungen, die vom Schwinger selbst gesteuert werden.

Nach den Erkenntnissen über den Unruhschwinger wird die Energie kurz vor Erreichen der größten Drehgeschwindigkeit zugeführt und wirkt beschleunigend auf die Drehbewegung ein.

Die mechanische Energiezufuhr zum Weiterschalten des Räderwerks wird im Augenblick der höchsten Schwingergeschwindigkeit entnommen. Dadurch ergibt sich nur eine

geringe Beeinflussung des Isochronismusverhaltens und eine hohe Ganggenauigkeit. Kontaktgesteuerte Drehschwinger sind in ihrer Ganggenauigkeit spannungsabhängig, da ihre Amplitude von der Größe des Antriebsimpulses abhängt. Mit geringer werdender Antriebsspannung ändern sich Geschwindigkeit, Impulsdauer und Amplitude des Antriebsimpulses. Ihre Ungenauigkeit wird um so größer, je mehr die Antriebsspannung vom Sollwert abweicht.

Um hohe Gangleistungen zu garantieren, ist es erforderlich, mit stabilen Antriebsspannungen zu arbeiten. Wird die Antriebsspannung einem Primärelement entnommen, ist es Voraussetzung, daß die Entladekennlinie dieses Primärelements geradlinig und parallel zur Abszisse verläuft.

Ähnlich wie bei kontaktgesteuerten Pendeln unterscheidet man:

- Drehschwinger mit schwingendem Magnetsystem
- Drehschwinger mit schwingender Antriebsspule
- Drehschwinger mit schwingendem Weicheisenanker.

Die ersten beiden Antriebslösungen beruhen auf dem physikalischen Prinzip der Abstoßung des Magnetsfeldes einer Luftspule durch das Magnetsfeld eines Dauermagneten.

Bild 2.52 zeigt die prinzipielle Lösung dieses Antriebs. Sie wird als elektrodynamisches Prinzip bezeichnet, wobei diese Bezeichnung im übertragenen Sinne zu verstehen ist.

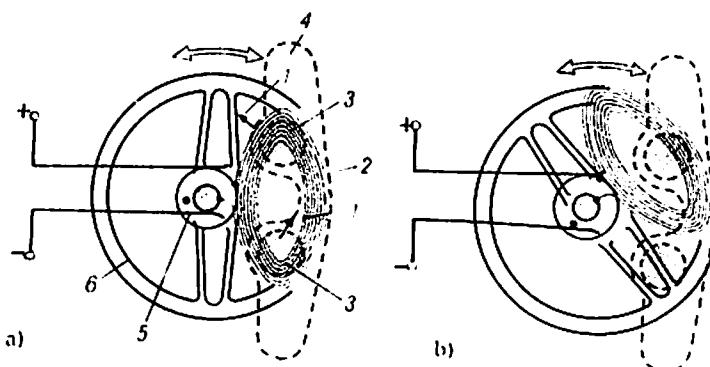


Bild 2.52. Drehschwinger mit elektrodynamischem Antrieb

a) Ruhelage des Schwingers; b) Antriebsphase des Schwingers

1 Abstoßrichtung; 2 Antriebsspule; 3 Magnet; 4 Joch; 5 Kontakt; 6 Unruh

Für den Antrieb mit schwingendem Weicheisenanker wurde die Bezeichnung elektromagnetisches System gewählt. Auch hier gilt die Bezeichnung im übertragenen Sinne (Bild 2.53).

Das Antriebssystem mit schwingendem Dauermagneten zeichnet sich durch sehr einfache Aufbau aus. Die Dauermagneten bilden ein geschlossenes Magnetsystem, in das die Unruhwelle als Teil des Magnetjochs mit einbezogen ist (Bild 2.54). Im Antriebsaugenblick liegt das Feld des Dauermagnetsystems direkt über dem Magnetsfeld der Luftspule und wird von diesem in Schwingungsrichtung abgestoßen.

Da das Joch des Dauermagnetsystems ferromagnetisch ist, läßt sich dieser Drehschwingmotor leicht durch äußere Magnetfelder oder große Eisenmassen stören.

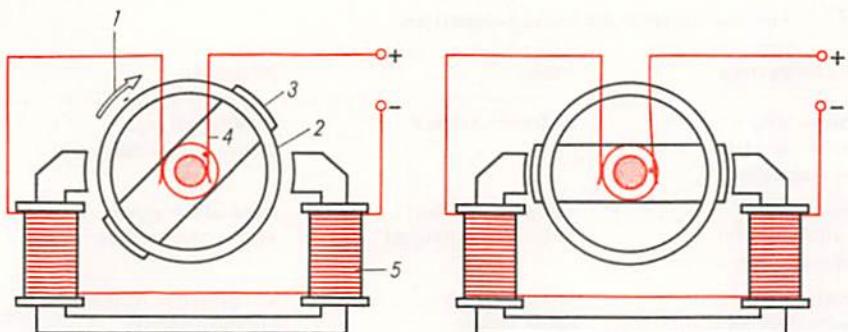


Bild 2.53. Drehschwinger mit elektromagnetischem Antrieb

1 Anzugrichtung; 2 Unruh; 3 Anker; 4 Kontakt; 5 Feldspule

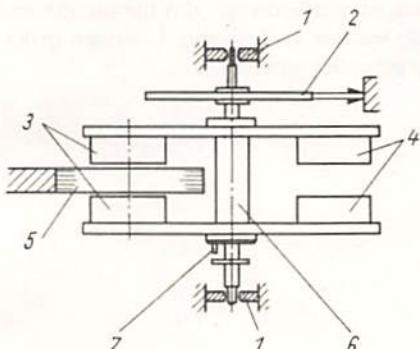


Bild 2.54. Drehschwinger mit schwingendem Dauermagnetsystem

1 Lagerstein; 2 Spirale; 3 Dauermagnete; 4 Ausgleichsmasse; 5 Antriebsspule; 6 Welle als magnetischer Rückschluß; 7 Kontakt- und Fortschaltstift

Drehschwinger mit schwingender Antriebsspule stellen eine Umkehrung des beschriebenen Systems mit schwingendem Dauermagneten dar. Ihr Aufbau ist komplizierter, da ein Anschluß der Spule über eine Spiralfeder mit der Antriebsstromquelle verbunden werden muß. Das Dauermagnetsystem ist fest im Uhrengehäuse untergebracht. Im Antriebsaugenblick liegt die Schwingerspule über diesem Magnetsystem und wird in Schwingungsrichtung aus dieser Lage herausgedrückt. Da der Schwingermotor keine bewegten ferromagnetischen Teile enthält, läßt sich seine Schwingbewegung nicht durch äußere Magnetfelder oder andere magnetische Einflüsse stören und genügt höchsten Ansprüchen der Magnetfeldunempfindlichkeit.

Drehschwinger mit schwingendem Weicheisenanker zeichnen sich durch einfachen, ökonomisch günstigen Aufbau aus. Ein als Anker dienendes Weicheisenblech wird durch das impulsförmig angeregte System zweier Spulen mit Eisenkern angezogen und beschleunigt. Kurz vor Erreichen der höchsten Drehgeschwindigkeit wird der Stromkreis unterbrochen, und der Schwinger schwingt den Ergänzungsbogen. Durch Vormagnetisierung des Jochs läßt sich bei diesem System ein hoher Wirkungsgrad erreichen.

Wegen seines ferromagnetischen Ankers ist dieses System sehr empfindlich gegen die Einflüsse äußerer Magnetfelder und leicht durch Fremdfelder zu stören. Eine Zusammenstellung der Vor- und Nachteile der beschriebenen Drehschwinger zeigt Tafel 2.5.

Drehschwingertyp	Vorteile	Nachteile
Drehschwinger mit schwingendem Dauermagnet	einfacher Aufbau	empfindlich gegen äußere Magnetfelder
Drehschwinger mit schwingendem Weicheisenanker	einfacher Aufbau; hoher Wirkungsgrad	empfindlich gegen äußere Magnetfelder
Drehschwinger mit schwingender Antriebsspule	unempfindlich gegen äußere Magnetfelder	komplizierter Aufbau; Stromleiterfelder am Schwinger erforderlich

Kontaktgesteuerte Drehschwinger sind so aufgebaut, daß während einer Vollschwingung nur ein Antriebsimpuls gegeben wird. Dazu ist es erforderlich, den Impuls während des Zurückschwings zu unterdrücken. Dafür wurden verschiedene Lösungen gefunden, die nicht an das gewählte Antriebsprinzip gebunden sind.

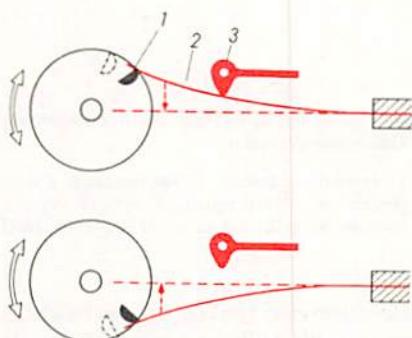


Bild 2.55. Kontakteinrichtung mit Unterdrückung des Rückimpulses

1 Hebelstift; 2 Kontaktfeder; 3 Kontakt

Bild 2.55 zeigt eine Kontakteinrichtung für eine Armbanduhr mit elektromagnetischem Antrieb. Bei dieser wird die Kontaktfeder 2 durch den Hebelstift 1 mitgenommen. Dieser hat keine elektrische Funktion. Wird die Kontaktfeder 2 in Uhrzeigerrichtung bewegt, so wird der Kontakt im geöffneten Zustand gehalten. Dreht sich die Doppelscheibe entgegen der Uhrzeigerrichtung, so wird der Kontakt über die Kontaktfeder 2 und den Kontakt 3 geschlossen. Der Kontakt 3 ist zur Optimierung des Schließzeitpunktes einstellbar.

Eine ähnliche Funktion hat die Kontakteinrichtung nach Bild 2.56. Sie ist für eine Uhr mit elektrodynamischem Antrieb vorgesehen. Der Kontakt ist im Ruhezustand geöffnet (hier nicht gezeichnet). Schwingt die Unruh in Uhrzeigerrichtung, so wird dieser Zustand aufrechterhalten. Schwingt die Unruh in entgegengesetzter Richtung, so wird der Kontakt geschlossen.

Diese Kontakteinrichtung unterscheidet sich von der nach Bild 2.55 in ihrer Wirkungsweise nicht. Die Aufgabe der Kontaktfeder 4 ist mit dem Kontakt 3 identisch. Die Kontaktfeder ist lediglich nicht einstellbar und muß justiert werden.

Eine andere Lösung für einen Schwingermotor nach dem elektrodynamischen Prinzip ist im Bild 2.57 dargestellt. Sie besteht aus einem Kontakt- oder Fortschaltstift auf der Doppelscheibe, einem Schalt- und Kontaktrad und einer Kontaktfeder.

Beim Anschwingen der Unruh aus einer durch ein Halteelement fixierten Lage läuft der Kontakt- oder Fortschaltstift gegen die steile Zahnvorderflanke des Schalt- und Kontaktrades. Er ist mit einem Ende der Antriebsspule verbunden. Im Laufe dieser Bewegung kommt die Rückflanke des Kontaktradzahnes mit der Kontaktfeder in Berührung und schließt den Stromkreis. Die Unruh erhält einen Antriebsimpuls. Durch die weitere Bewegung des Kontaktrades fällt die Kontaktfeder von der Rückflanke des Zahnes ab und öffnet den Stromkreis. Dadurch ist der Kontaktstift beim Verlassen des Kontaktrades stromlos. Während des Rückschwingens der Unruh läuft der Kontaktstift wieder auf die Rückflanke des Kontaktrades auf und bewegt es um einen kleinen Betrag rückwärts. Die Kontaktfeder ruht in dieser Phase in der Zahnlücke des Kontaktrades. Es besteht keine leitende Verbindung. Der Impuls der Rückwärtsschwingung wird unterdrückt.

Entsprechend der Aufgabenstellung ist dieser Kontakteinrichtung eine zweite Aufgabe, die Umformung der Schwingbewegung in eine Drehbewegung, zugeordnet (s. Abschn. 2.5.1.).

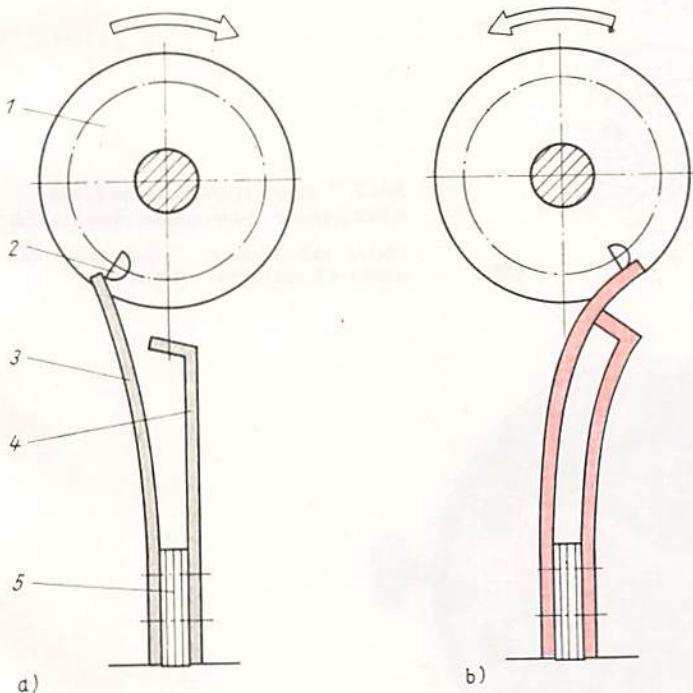


Bild 2.56. Funktionsprinzip einer Kontakteinrichtung zur Unterdrückung des Rückimpulses für eine elektrische Armbanduhr mit elektrodynamischem Antrieb

- a) Kontakt geöffnet; b) Kontakt geschlossen
1 Doppelscheibe; 2 Hebelstein; 3 Schaltfeder; 4 Kontaktfeder; 5 Isolierstück

Die Kontakteinrichtung nach Bild 2.55 wird in einer Armbanduhr nach Bild 2.58 verwendet. Sie hat die Aufgabe, den Stromkreis eines elektromagnetischen Feldes periodisch im Rhythmus der Schwingfrequenz einer Unruh mit weichmagnetischem Anker zu öffnen und zu schließen. Die beschriebene Kontakteinrichtung besteht aus der im Uhrgestell befestigten Kontaktfeder 2, dem justierbaren Kontakt 3 und dem auf der Doppelscheibe befestigten Hebelstift 1.

Die Unruh besteht aus ferromagnetischem Werkstoff und bildet gleichzeitig den Swinger des Systems. Die Kontaktfunktion ist oben bereits beschrieben.

Schwingsysteme direkt angetriebener elektrischer Uhren neigen bei großen Amplituden zum „Galoppieren“. Um das zu verhindern, werden Mittel zur Begrenzung der

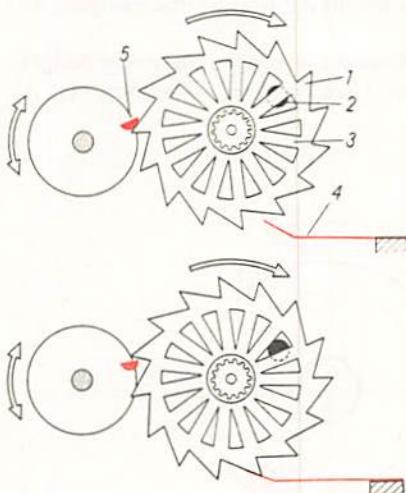


Bild 2.57. Kontakteinrichtung eines Drehschwingers mit elektrodynamischem Antrieb
1 Schalt- und Kontaktrad; 2 Rastmagnet; 3 Rastspeiche; 4 Kontaktfeder; 5 Kontaktstift

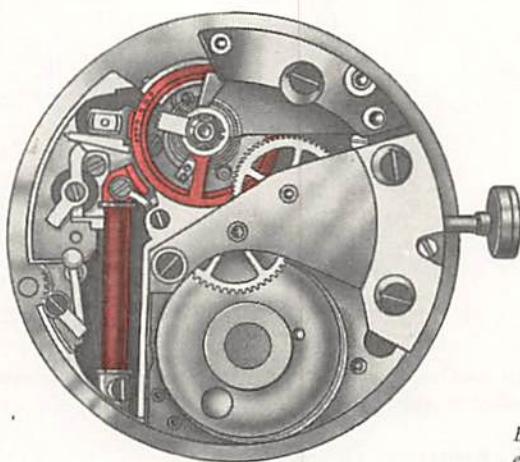


Bild 2.58. Werk einer Armbanduhr mit elektromagnetischem Antrieb

Unruhamplitude eingesetzt. Zu große Unruhamplituden können durch zu hohe Frischspannungen bei Primärelementen oder durch äußere Störungen entstehen.

In diesem Fall wird der Kontakt in der gleichen Schwingrichtung zum zweiten Mal geschlossen, und die Unruhamplitude vergrößert sich weiter, bis durch andere Begrenzungsmittel die Schwingung gedämpft wird. Besonders groß ist die Gefahr des Galoppierens bei Swingerfrequenzen von 2,5 bis 3 Hz. Diese Erscheinung lässt sich durch Anbringen eines beweglichen Amplitudenbegrenzungsfingers, der gegen einen Anschlag läuft (Bild 2.59), oder durch einen zweiten Hebelstift auf der Doppelscheibe, der mit einem Begrenzungsanker zusammenwirkt, unterdrücken (Bild 2.60).

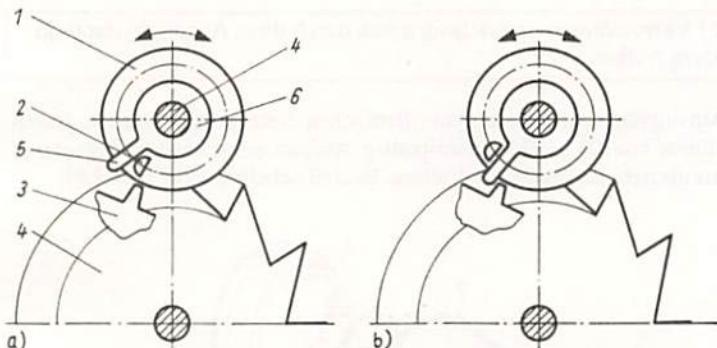


Bild 2.59. Amplitudenbegrenzungsfinger zur Begrenzung zu großer Swingeramplituden

a) Fortschaltstellung; b) Sperrstellung

1 Doppelscheibe; 2 Schaltstift; 3 Anschlagfänger am Uhrengestell; 4 Swingerwelle; 5 beweglicher Amplitudenbegrenzungsfinger; 6 Zellenhalterung

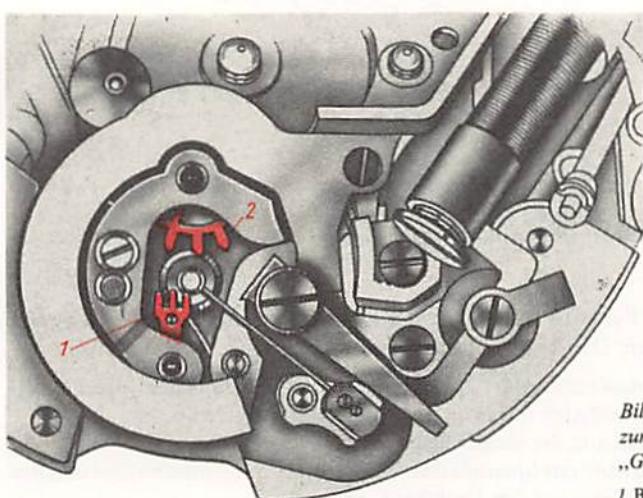


Bild 2.60. Begrenzungsanker zur Verhinderung des „Galoppierens“ der Unruh

1 Begrenzungsanker; 2 Schaltrad

2.4. Steuerungen indirekt angetriebener elektrischer Uhren

Zum Aufladen des mechanischen Energiespeichers indirekt angetriebener elektrischer Uhren sind Steuerungen erforderlich. Ihr Aufbau hängt von der Dauer des Aufzugs und von der Art des Energiewandlers ab.

Allgemein ist der Aufbau der Steuerung um so komplizierter, je länger die Aufzugsdauer und damit auch die Ablaufdauer des mechanischen Energiespeichers ist.

2.4.1. Steuerungen für Elektromotoren

Steuerungen für Elektromotoren unterscheiden sich durch ihren Aufzughhythmus in ihrem konstruktiven Aufbau.

Steuerungen für Aufzugmotoren, die aus dem öffentlichen Netz gespeist werden, haben einen Aufzughhythmus von 24 h. Den prinzipiellen Aufbau einer solchen Steuerung, die mit einem Schraubtrieb als charakteristischem Bauteil arbeitet, zeigt Bild 2.61.

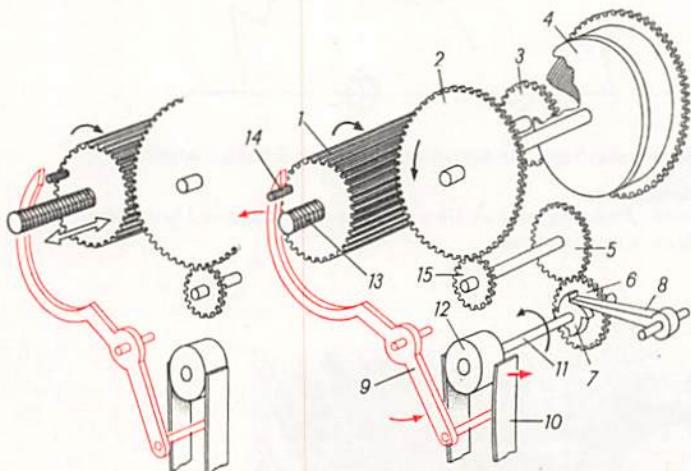


Bild 2.61. Steuerung des Aufzugs für einen 24-h-Aufzughhythmus

1 Schraubtrieb; 2 Aufzuggrad; 3 Schaltrad; 4 Federhaus; 5 Zwischenrad; 6 Antriebsritzel; 7 Sperrad; 8 Sperrklippe; 9 Schalthebel; 10 Bürste; 11 Motorwelle; 12 Kollektor; 13 Gewindewelle; 14 Schaltstift; 15 Antriebsrad

Zum Verständnis der Funktion der Steuerung ist es erforderlich, die Aufzug- und Ablaufphase zu betrachten. Die Aufzugphase läuft wie folgt ab:

- Entsprechend dem Ablaufzustand der Antriebsfeder hat der Schalthebel eine Rechtsdrehung ausgeführt, die Bürsten liegen an, der Stromkreis ist geschlossen.
- Die Motorwelle dreht sich in der gezeichneten Richtung.
- Durch den Motor wird über das Sperrad, das Zwischenrad, das Antriebsritzel und das Aufzuggrad die Antriebsfeder auf den Federkern gewickelt.

- Infolge der Trägheit des Räderwerks der Uhr ist die Federhaustrommel gesperrt.
- Durch das Aufzugrad wird das Schraubtrieb in Richtung Schalthebel bewegt.
- Der Schalthebel wird durch den Schaltstift bei der Schraubtriebbewegung abgehoben.
- Durch Abheben der Bürsten vom Kollektor unterbricht der Schalthebel den Stromfluß.
- Das Sperrrad wird durch den Sperrhebel in einer der vier definierten Lagen gesperrt.

Die nun einsetzende Ablaufphase des Uhrwerks vollzieht sich wie folgt:

- Das Schaltrad dreht die Gewindewelle im Schraubtrieb, das durch das Aufzugrad gegen Verdrehung gesichert ist.
- Das Schraubtrieb bewegt sich vom Schalthebel weg.
- Der Schalthebel fällt vom Schaltstift ab.
- Die Bürsten liegen am Kollektor an.
- Die Aufzugphase beginnt von neuem.

Indirekt angetriebene Uhren, deren Antriebsfeder von einem Elektromotor aufgezogen wird, der seine Energie einem Primärelement entnimmt, haben einen einfacheren Steueraufbau.

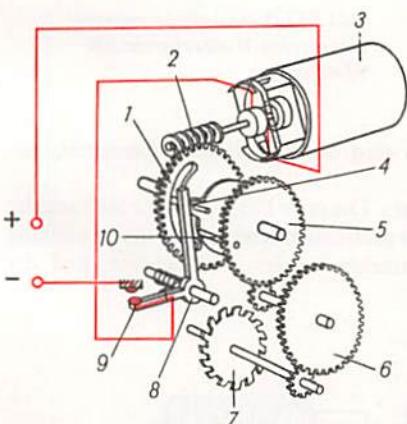


Bild 2.62. Aufbau einer elektrischen Uhr mit Motoraufzug und Speisung aus einem Primär-element

1 Schneckenrad; 2 Schnecke; 3 Motor; 4 Schalthebelscheibe mit Schalthebel; 5 Kleinbodenrad mit Federhaus; 6 Sekundenrad; 7 Gangrad; 8 Kontakttrad; 9 Kontakt; 10 Mitnehmerstift

Ein Beispiel für einen elektrischen Wecker zeigt Bild 2.62. Der 1,5-V-Motor treibt durch eine Schnecke 2 ein Schneckenrad 1, auf dessen Welle lose der Schalthebel 4 sitzt. Dieser Schalthebel ragt durch eine Ausnehmung des Schneckenrades 1. Er wird beim Aufzug gemeinsam mit der Schalthebelscheibe 4 mitgenommen, so daß er an der Ausnehmung anliegt. Schneckenrad- und Kleinbodenradwelle sind starr miteinander gekoppelt. Beim Aufziehen wird der Schalthebel 4 gegen den Kontaktthebel 8 bewegt. Der Kontakt 9 hebt ab. Der Motorstromkreis wird unterbrochen.

Die so gespannte Antriebsfeder beginnt ihren Entspannungszyklus. Der am Federhaus befestigte Mitnehmerstift legt sich an den Schalthebel an und führt ihn mit. Kurz vor der vollständigen Entspannung der Antriebsfeder fällt der Kontaktthebel vom Schalthebel ab, der Kontakt wird geschlossen. Der Aufzug beginnt von neuem.

Eine andere Lösung, wie sie für Wohnraumuhrn verwendet wurde, zeigt Bild 2.64. Auch hier erfolgt der Antrieb durch das Kleinbodenrad und den mit ihm fest verbundenen Federkern. Der Federkern trägt den Mitnahmehobel für den Schalthebel und den Sicherheitsfinger, der den Ablauf des Federkerns sperrt, wenn wegen einer erschöpften Primärzelle nicht völlig aufgezogen wurde. In diesem Fall bleibt der Kontakt geschlossen. Der Aufzug erfolgt durch ein Schneckenrad, das auf der Welle des Kleinbodenrades frei drehbar gelagert ist. Für die frei drehbare Schalscheibe bildet die Buchse des Schneckenrades den Lagerzapfen. Diese Schalscheibe wird vom Schneckenrad durch den Mitnahmestift am Sicherheitsfinger, der durch die Ausdehnung des Schneckenrades ragt, mitgeführt. Auch hier legt sich der Finger an das Ende dieser

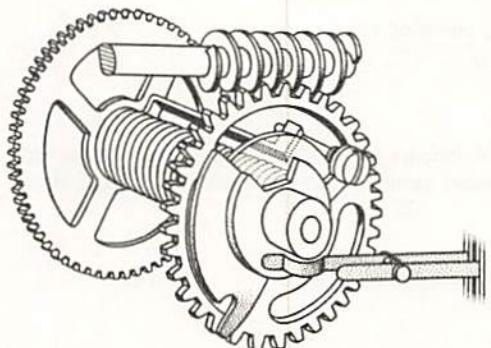


Bild 2.63. Kontaktsteuerung einer elektrischen Wohnraumuhr mit Motoraufzug

Ausdehnung an. Schneckenrad und Federkern sind durch eine schraubenförmig gewundene Biegefeder miteinander verbunden.

Die Aufzugphasen sind aus Bild 2.64 zu erkennen. Die erste Phase zeigt die Stellung der Steuerelemente bei gespannter Antriebsfeder und geöffnetem Kontakt. In dieser Stellung liegt die Steuerfahne des Kontakts in der Ausnehmung der Schalscheibe, und der Kontakt ist geöffnet.

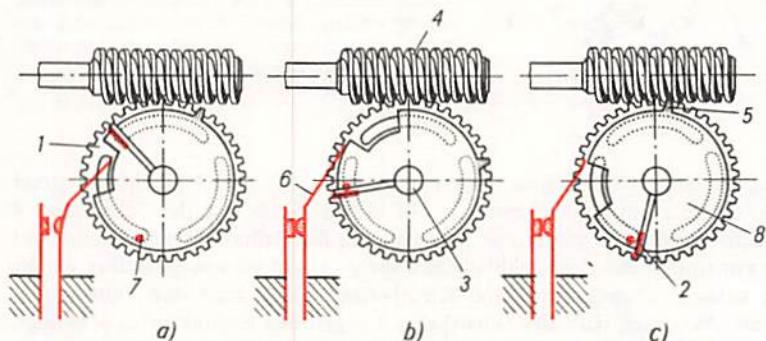


Bild 2.64. Kontaktsteuerung für eine elektrische Uhr

a) Antriebsfeder gespannt; b) Aufzug durch ablaufende Antriebsfeder; c) Sperrung durch Sicherheitsfinger
 1 Schneckenrad; 2 Mitnahmefinger; 3 Federkern; 4 Schnecke; 5 Sicherheitsfinger; 6 Steuerfahne; 7 Schaltstift; 8 Schalscheibe

Der mit der Schalscheibe fest verbundene Schaltstift liegt am Ende der Ausnehmung an, während der Sicherheitsfinger die dargestellte Lage einnimmt.

Die sich entspannende Antriebsfeder dreht den Federkern in Uhrzeigerrichtung weiter, bewegt den Mitnahmefinger gegen den Schaltstift und führt diesen mit. Infolge der festen Verbindung mit dem Mitnahmefinger dreht sich die Schalscheibe ebenfalls weiter. Sie hebt die Steuerfahne des Kontakts an und schließt den Stromkreis.

Die zweite Phase (Aufzugphase) umfaßt eine volle Schneckenradumdrehung und damit auch Schalscheibenumdrehung, bis die Steuerfahne des Kontakts in die Ausnehmung der Schalscheibe fällt und der Motor stromlos wird.

Die dritte Phase der Steuerfunktion ist die Sperrung der Steuerelemente bei nicht vollständigem Aufzug. Die Sperrung erfolgt durch einen zahnförmigen Sicherheitsfinger, der mit der Schalscheibe eine Einheit bildet. Der Sicherheitsfinger wird bei jedem Aufzug durch die Schnecke mit hindurchbewegt; er liegt parallel zum Schneckenrad. Bleibt der Aufzugsmotor infolge einer erschöpften Zelle stehen, so bleibt der Sicherheitsfinger mit der Schnecke im Eingriff und sperrt die Bewegungsmöglichkeit der Schalscheibe. Die Anordnung des Sicherheitsfingers ist so gewählt, daß die Schalscheibe durch den Mitnahmefinger nur dann nicht bewegt werden kann, wenn die Gefahr besteht, daß sie durch die restliche Antriebskraft der gewundenen Biegefeder den Kontakt wieder öffnet. So wird erreicht, daß das Uhrwerk beim Einsetzen einer neuen Zelle mit Sicherheit wieder anläuft.

Eine Aufzugsteuerung durch Kontakte mit einem Flachmotor zeigt Bild 2.65. Hier treibt der flache Motor über ein Stirnradgetriebe an. Die Motorwelle trägt ein Antriebsritzel, das mit einem Antriebsrad aus Plast im Eingriff steht. Dieses Rad hat die Aufgabe, das Aufzugeräusch zu dämpfen.

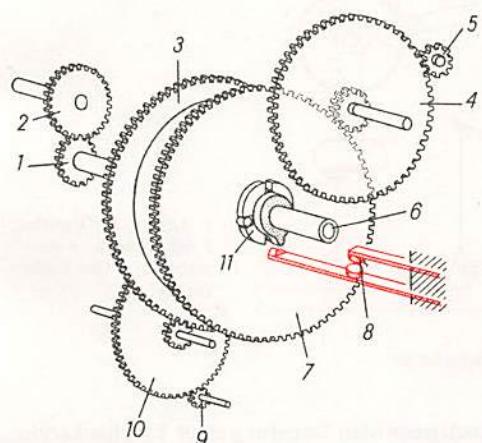


Bild 2.65. Aufzugsteuerung eines Uhrwerks über ein Stirnradgetriebe

1 Kleinbodenradtrieb; 2 Minutenrad mit Federhaus; 3 Kleinbodenrad mit Federhaus; 4 Antriebsrad; 5 Antriebsritzel mit Motor; 6 Gewindewelle; 7 Federkernrad; 8 Kontakt; 9 Gangradtrieb; 10 Sekundenrad; 11 Schalscheibe

Durch ein Antriebsrad treibt das Ritzel das Federkernrad an, das drehbar auf der Welle des Kleinbodenrades gelagert ist. Wie bei anderen Uhrwerken, leitet man hier die Steuerfunktion vom Federkernrad ab. Das Schalten geschieht durch eine Schalscheibe aus Polyamid, die wie eine Wandermutter eines Schraubgetriebes wirkt. Ihre Auf- und Abwärtsbewegung wird durch die Kleinbodenradwelle gesteuert, die mit einem Bewegungsgewinde versehen ist. Zur Höhenjustierung der Schalscheibe und zur genauen

Steuerung der Schaltbewegung enthält sie vier Aussparungen. In einer dieser Aussparungen befindet sich nach der Justage ein Stift, der in das Federkernrad eingedrückt ist. Dieser nimmt die Schalscheibe beim Aufzug am Federkernrad mit und verstellt sie in ihrer Höhe. Infolge des Aufsteigens der Schalscheibe an der Kleinbodenradwelle wird die Kontaktfeder des Schaltkontaktees mit einem Nocken angehoben, und der Stromkreis wird unterbrochen.

Durch die Ablaufbewegung des Kleinbodenrades, das als Federhaus die Antriebsfeder trägt, wandert die Schalscheibe wieder zum Federkernrad hin. In diesem Fall ist das Federkernrad durch eine Sperrlinke gesperrt, und die Schalscheibe kann dadurch nur eine Abwärtsbewegung ausführen. Nach Ablauf einer Federhausumdrehung wird der Stromkreis wieder geschlossen, und der Aufzugzyklus beginnt von neuem.

2.4.2. Steuerungen für elektrische Energiewandler mit mechanischem Speicherelement

Elektrische Energiewandler mit mechanischem Speicherelement werden über Kontakte durch den Entladestand des mechanischen Energiespeichers gesteuert.

In ihrer grundsätzlichen Funktionsweise unterscheiden sich die Steuerungen nicht. Sie sind jedoch in bezug auf die Antriebsspannung und den Arbeitsstrom den Belastungen der Schaltkontakte angepaßt. Schaltkontakte für Netzspannungen erfordern aus Lebensdauergründen Schaltkontakte hoher Belastbarkeit und hoher Zuverlässigkeit.

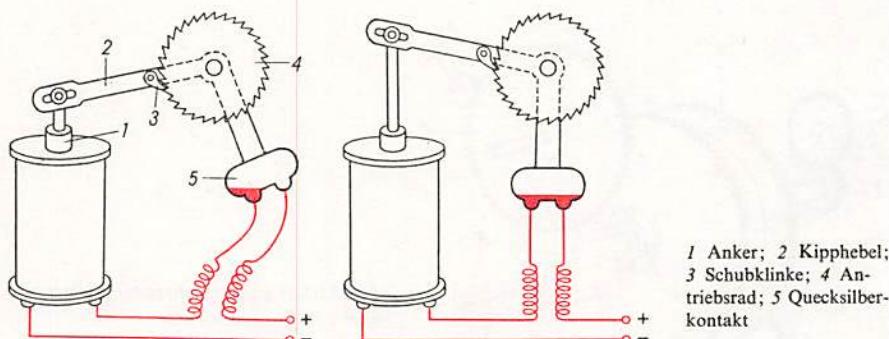


Bild 2.66. Elektromagnetaufzug und Quecksilberschalter

Bild 2.66 enthält die Ausführung einer netzgespeisten Steuerung einer Tauchankeruhr. Diese Uhr arbeitet mit einem Quecksilberschalter, der gleichzeitig die Funktion des Triebgewichts hat. Es ergibt sich folgende Funktion:

Der Anker 1 wird beim Anlegen der Spannung in den Elektromagneten hineingezogen. Bei dieser Bewegung greift der mit dem Anker gelenkig verbundene Kippeb 2 über die Schublinke 3 in ein Antriebsrad 4 und dreht es um einen entsprechenden Winkelbetrag. Mit dieser Drehung wird der am Ende des Kippebels befestigte Quecksilberkontakt 5 angehoben und bei einem bestimmten Winkel der Stromfluß unterbrochen. Das Gewicht des Quecksilberkontaktees übernimmt dabei die Funktion der Ener-

giezwischenspeicherung. Bei der Abwärtsbewegung des Kipphebels durch den Quecksilberkontakt wird das folgende Räderwerk angetrieben. Wenn der Quecksilberkontakt seine tiefste Stelle erreicht hat, wird der Stromkreis geschlossen, und der Aufzugzyklus beginnt von neuem.

Wird als Spannungsquelle ein Primäremelement verwendet, so sind die Steuerungen ausschließlich mit Kontakteinrichtungen versehen. Wegen der geringen Antriebsspannung von 1,5 V sind nur geringe elektrische Kontaktbelastungen zu erwarten. Bild 2.67 zeigt ein Aufzugprinzip mit Triebgewicht.

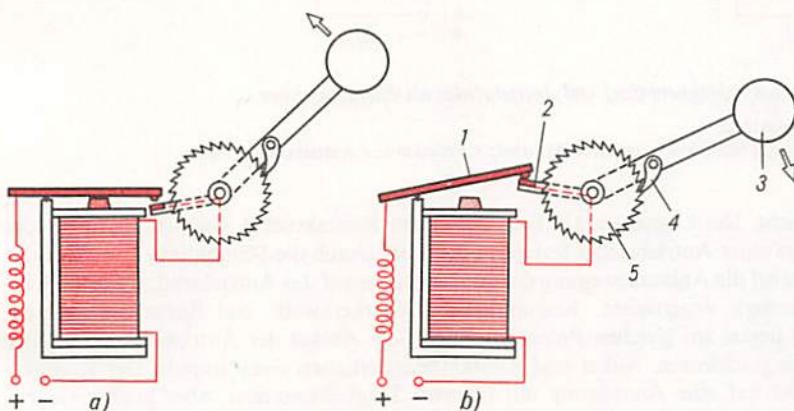


Bild 2.67. Elektromagnetaufzug mit Triebgewicht

a) Aufzug; b) Ablauf

1 Klapppanker; 2 Kontakt; 3 Gewicht; 4 Schubklinke; 5 Antriebsrad

Bei dieser Ausführung ist der Antriebsanker als Klapppanker ausgeführt.

Während der Ablaufphase sind Klapppanker 1 des Systems und Kontakt 2 geöffnet. Der Klapppanker wird dabei durch eine Zugfeder in seiner Lage festgehalten. Er ist mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden und trägt eine Hälfte des Schaltkontakte. Die andere Hälfte des Kontakts trägt der kurze Hebelarm des Antriebshebels. An seinem Ende ist das Triebgewicht befestigt.

Der Antriebshebel greift mit einer Schubklinke in das Antriebsrad und bewegt es in Richtung der Stoßklinke. Antriebsrad und Antriebshebel sind gemeinsam gelagert und mit dem Minuspol des Elektromagneten verbunden. Während der Ablaufbewegung erreicht der kurze Hebelarm des Antriebshebels den Ankerkontakt. Der Stromkreis wird geschlossen. Diese Stellung entspricht der „Aufzugstellung“ im Bild 2.67b.

Der Anker erhält durch den Elektromagneten einen mechanischen Impuls und leitet ihn auf den Antriebshebel weiter. Durch den Impuls wird das Gewicht beschleunigt. Es legt einen Winkelweg zurück, der von der Größe des Impulses und vom Trägheitsmoment der Aufzugsanordnung abhängt. Das Antriebsrad steht während der Aufzugsbewegung still. Es wird entweder durch eine Sperrklinke oder durch die Trägheit des folgenden Räderwerks gesperrt.

Verwendet man anstelle eines Triebgewichts eine Antriebsfeder, so ergibt sich eine Anordnung nach Bild 2.68. Das elektromagnetische System entspricht dem Prinzip mit

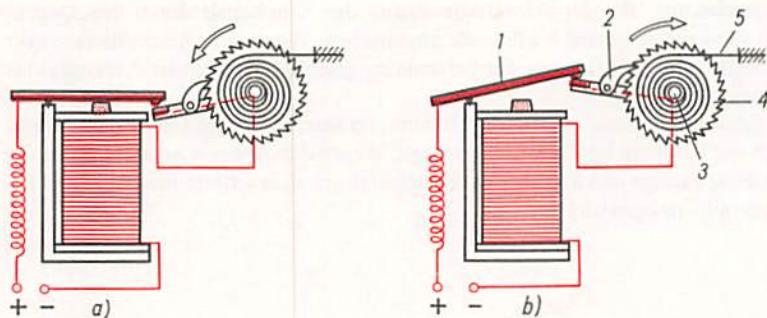


Bild 2.68. Elektromagnetaufzug und Antriebsfeder als Energiespeicher

a) Aufzug; b) Ablauf

1 Klappanker; 2 Schubklappe mit Kontaktthebel; 3 Federkern; 4 Antriebsrad; 5 Feder

Triebgewicht. Der Gegenkontakt liegt auf einem Kontaktthebel, der mit der Welle des Federkerns einer Antriebsfeder fest verbunden ist. Durch die Schubklappe überträgt der Kontaktthebel die Ablaufbewegung der Antriebsfeder auf das Antriebsrad. Dadurch wird das Räderwerk angetrieben. Kontaktthebel, Federkernwelle und Spule des Elektromagneten liegen am gleichen Potential. Nach dem Ablauf der Antriebsfeder wird der Stromkreis geschlossen. Anker und Kontaktthebel erhalten einen Impuls. Der Kontaktthebel wirkt auf eine Anordnung mit kleinem Trägheitsmoment, aber großer Gegenkraft. Man erreicht dadurch nur einen kleinen Aufzugswinkel. Dieser Winkel reicht für einen ordnungsgemäßen Antrieb nicht aus. Man verbindet deshalb den Kontaktthebel und den Federkern mit einer Schwungmasse (großes Trägheitsmoment). Dadurch wird der gleiche Effekt wie beim Aufzug mit Triebgewicht (großer Schleuderwinkel) erreicht.

2.5. Umformerelemente elektrischer Uhren

Umformerelemente haben die Aufgabe, kennzeichnende Bewegungsgrößen wie Winkel, Geschwindigkeit, Drehung usw. in andere Bewegungsgrößen umzuformen.

In ihrer allgemeinsten Form sind sie Getriebe. Für die Umwandlung von Winkelbewegungen in Drehbewegungen haben sie für direkt angetriebene elektrische Uhren große Bedeutung.

Die Umformerelemente der indirekt angetriebenen elektrischen Uhren unterscheiden sich nicht von den Getrieben der bekannten mechanischen Uhr. Ihre Berechnung, ihre Funktion und ihre Anordnung erfolgen nach den Prinzipien der mechanischen Uhren. Indirekt angetriebene elektrische Uhren haben als kennzeichnende Bauelemente elektrische Energiewandler, deren Aufgabe die Umwandlung elektrischer in mechanische Energie ist.

Sie unterscheiden sich wegen ihres zweckgebundenen Einsatzes in ihrer Charakteristik von den für universelle Anwendungen beschriebenen Elektromotoren und Elektromagneten. Ihre Bedeutung für die indirekt angetriebene elektrische Uhr gleicht der der Umformerelemente.

2.5.1. Umformerelemente direkt angetriebener elektrischer Uhren

Direkt angetriebene elektrische Uhren haben kontaktgesteuerte Pendel oder kontaktgesteuerte Drehschwinger als Schwingermotoren, deren Schwingbewegung durch Umformerelemente in eine Drehbewegung umgewandelt wird.

Als Antriebselemente geben diese Motoren keine Drehbewegung, sondern eine Winkelbewegung ab, die durch geeignete „mechanische Gleichrichter“ in eine Drehbewegung umgeformt werden muß.

Solche Umformerelemente sind:

- Schrittschaltgetriebe mit Schaltrad
- Schrittschaltgetriebe mit Stoßklinke
- Schrittschaltgetriebe mit Schaltanker
- Schrittschaltgetriebe mit Schaltweiche.

Schrittschaltgetriebe mit Schaltrad

Schrittschaltgetriebe mit einem Schaltrad erfordern eine Begrenzung des Schaltschrittes durch Rastelemente. Solche Rastelemente sind Federn oder Dauermagnete, die mit Rasträdern aus Weicheisen magnetische Gesperre bilden.

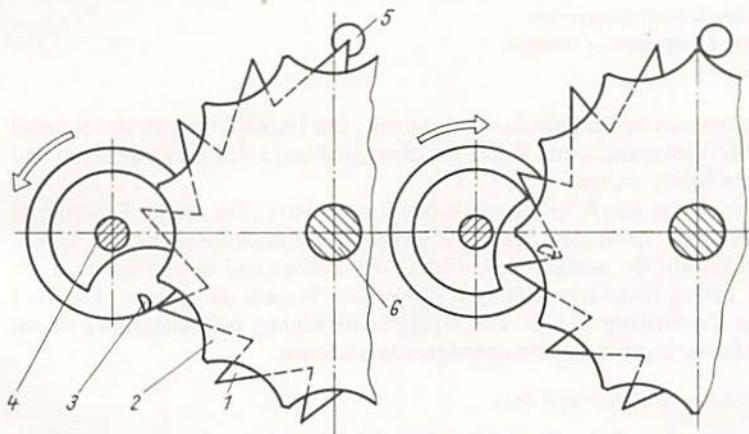


Bild 2.69. Schrittschaltgetriebe mit Schaltrad und Sperrad

1 Schaltrad; 2 Rastrad; 3 Kontakt- und Hebelstift; 4 Doppelscheibe; 5 Rastmagnet; 6 gemeinsame Welle

Ein Schrittschaltgetriebe mit einem Schaltrad (Sperrad) und einem Rastrad ist im Bild 2.69 dargestellt. Schaltrad 1 und Rastrad 2 sind fest miteinander verbunden. Das Schaltrad 1 besteht aus ferromagnetischem Werkstoff und wird durch den Rastmagneten 5 in seiner Ruhelage festgehalten. Es wird durch die Ellipse (den Hebelstift) 3 fortgeschaltet. Im Bild sind die beiden Bewegungsphasen „Einrasten“ und „Fortschalten“ dargestellt. Beim „Einrasten“ wird die Stellung des Schaltrades zusätzlich durch die Sperrkurve der Doppelscheibe 4 fixiert, so daß ein Pendeln des Gesperres unterdrückt wird. Gleichzeitig verhindert diese Ausführung des Rastrades 2 ein zweites Fortschalten bei zu großen Schwingungen der Unruh, die fest mit der Doppelscheibe verbunden ist.

Während der Rückbewegung des Hebelstifts führt auch das Rastrad 2 eine kleine Rückwärtsbewegung aus, da das Schaltrad durch den Hebelstift 3 aus seiner Ruhelage gedrückt wird. Es wird durch den Rastmagneten 5 in seine Ruhelage zurückgezogen und nimmt dabei seine Ausgangslage wieder ein.

Diese Fortschalteinrichtung zeichnet sich durch eine sichere Begrenzung des Schalt-schrittes aus. Nachteilig wirkt sich die Fixierung durch die Sperrkurve aus, da sie die freie Schwingung der Unruh verhindert.

Bild 2.70 zeigt ein Schrittschaltgetriebe mit einem Schaltrad, dessen Aufgabe nur die Umwandlung der Schwingbewegung in eine Drehbewegung ist. Die Doppelscheibe der Unruh trägt neben dem Kontaktstift einen Hebelstift, der in die Verzahnung des Schalt-

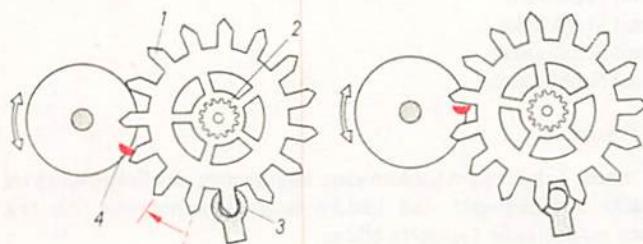


Bild 2.70. Einfaches Schrittschaltgetriebe
1 Schaltrad; 2 Trieb; 3 Rastmagnet; 4 Hebelstift

rades mit verschiedenen steilen Zahnflanken eingreift. Der Hebelstift nimmt das Steiggrad bei seiner Vorwärtsbewegung durch Druck auf die steile Flanke des Schaltzahns mit und schaltet um einen Schritt weiter.

Das Einrasten erfolgt durch ein magnetisches Rastgesperre. Ein runder Rastmagnet arretiert jeweils einen Zahn des Rades. Während des Rückschwingers der Unruh trifft der Hebelstift auf die weniger steile Flanke des Zahnes und bewegt das Rad um einen geringen Betrag rückwärts. Dann verlässt er den Bereich des Zahnes. Das Rad schnappt in die Raststellung zurück. Die Rückwärtsbewegung des Schaltrades ist am leichten Rückwärtsspringen des Sekundenzeigers zu erkennen.

Schrittschaltgetriebe mit Fortschaltklinke

Umformerelemente, die auf der Grundlage eines Schrittschaltgetriebes mit einer Fortschaltklinke aufbauen, ähneln den beschriebenen Schaltwerken mit Schaltrad und Hebelstift. Sie werden dort eingesetzt, wo eine hin- und hergehende Bewegung in eine Drehbewegung umgewandelt werden soll. Die hin- und hergehende Bewegung ist geradlinig oder der Bogen des Transportwinkels in bezug auf seine Länge nahezu geradlinig.

Bild 2.71 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Schrittschalters mit Fortschaltklinke. Der Schaltweg entspricht einer Zahnteilung. Die Funktion lässt sich nur gemeinsam mit den Funktionselementen Kontakt, Schwinger und Energiespeicher beschreiben (s. Bild 2.44). Die Steuerung des Schwingers erfolgt mittels einer Totpunktgefeder. Das Fortschaltgetriebe arbeitet mit einem polarisierten (vormagnetisierten) Relais. Der Ablauf beginnt, indem die mit dem Anker verbundene Fortschaltklinke durch das Relais nach rechts gezogen worden ist. Die Totpunktgefeder hat dabei die Stellung *a* eingenommen. Die Unruh hat die letzte Halbschwingung vollendet und die Augenblickslage des Umkehrpunkts erreicht (Ausgangsstellung). Sie schwingt die erste Halbschwingung

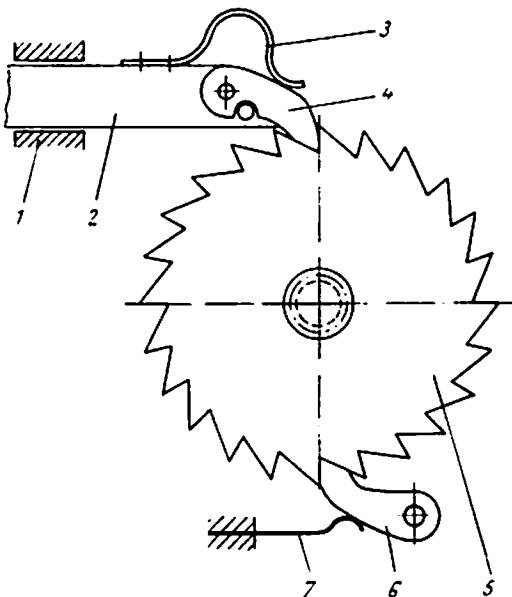


Bild 2.71. Schrittschalter mit Stoßklinke

1 Gleitführung; 2 Schubstange; 3 Fortschaltklinkenfeder; 4 Fortschaltklinke; 5 Schaltrad; 6 Sperrklinke; 7 Sperrklinkenfeder

der folgenden Schwingung und nimmt die Totpunktfeder durch ihre Gabel mit. Die Totpunktfeder gelangt in die instabile Lage. Aus dieser wird sie durch die Unruh geführt. Beim Erreichen der Ausgangsphase der stabilen Lage wird die gespeicherte Energie frei. Sie erteilt der Unruh einen Antriebsimpuls. Die Unruh schwingt zum Umkehrpunkt. Durch den Entladeimpuls werden auch der Anker und die Fortschaltklinke nach links bewegt. Der Anker schlägt mit seinem Kontakt auf den Relaiskontakt und schließt dabei den Stromkreis. In diesem Augenblick wird der Anker durch das Relais angezogen, die Fortschaltklinke wieder nach rechts bewegt und das Steigrad um einen Zahn weitergeschaltet. Dabei wird die Totpunktfeder wieder gespannt (Lage b). Beim Rückschwingen der Unruh drückt der Hebelstift die Federgabel etwas zusammen und nimmt wieder die Ausgangsstellung a ein. Durch die Rastfeder wird das Schaltrad gesperrt. Während der Bewegung nach links dreht die Fortschaltklinke das Schaltrad um einen geringen Betrag zurück. Durch die Rastfeder kehrt das Schaltrad wieder in seine Ausgangslage zurück.

Schrittschaltgetriebe mit Schaltanker

Durch Umkehrung des Prinzips der Ankerhemmung ist es möglich, die Winkelbewegung von Schwingermotoren in eine Drehbewegung umzuformen. Der Anker hat die Funktion eines Fortschaltelementes, während das Hemmungsrad die Funktion eines Steig- oder Schaltrades übernimmt.

Das im Bild 2.72 dargestellte Schrittschaltwerk mit Schaltanker arbeitet nach folgendem Prinzip:

Der Schaltanker wird durch den Dauermagneten in seiner ersten Lage fixiert. Durch den Hebelstift der Unruh wird der Schaltanker aus seiner fixierten Lage herausgerissen und trifft mit seinem Stift auf die Fortschaltschräge des Schaltrades.

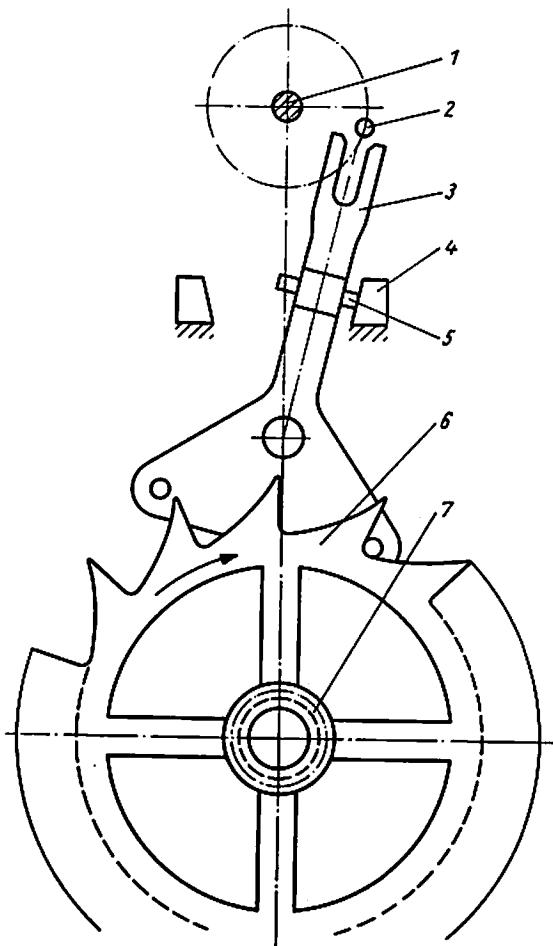


Bild 2.72. Schrittschalter mit Schaltanker

1 Schwingermotor; 2 Hebelstift des Schwingermotors; 3 Schaltanker; 4 Fixierklötzen; 5 Dauermagnet; 6 Schalttrad; 7 Schalttradtrieb

Die Schräge ist so geformt, daß sich eine stets gleichbleibende Kraftgröße und Kraftwirkung zur Erzeugung eines Drehmoments ergibt. Der durch die Winkelbewegung des Schaltankers hervorgerufene Winkelweg ist so groß, daß nach dem Herausgleiten des Hebelstifts aus der Ankergabel des Schaltankers der andere Ankerstift vor dem Eingriffspunkt der zugehörigen Schaltfläche des Schaltrades liegt. In dieser Lage wird der Anker, während die Unruh ihren Ergänzungsbogen schwingt, durch einen zweiten Magneten fixiert.

Beim Zurückschwingen wird der Anker aus dieser Lage durch die Unruh wiederum herausgerissen und drückt das Schalttrad um eine Teilung weiter. Die Arretierung des Ankers in seine beiden Endlagen ist notwendig, um ein zufälliges Bewegen durch äußere Einflüsse und damit ein Versagen des Schrittschaltgetriebes zu verhindern. Die Entnahme mechanischer Energie zur Trennung von Anker und Magnet wirkt sich störend auf den Isochronismus des Schwingers aus.

Schrittschaltgetriebe mit Schaltweiche

Die Umformung von Drehschwingungen in Drehbewegungen ist mit Schaltweichen möglich. Voraussetzung für solche Schrittschaltgetriebe sind gekreuzte Achsen von Schwinger und Schaltrad.

Das Getriebe ist in jeder Bewegungsphase formschlüssig. Durch diese Eigenschaften schwingt der Schwinger des Uhrwerks in keiner Schwingungsphase frei.

Die Wirkungsweise der Anordnung geht aus Bild 2.73 hervor. Die Schaltweiche ist anstelle der Doppelscheibe auf der Schwingerwelle befestigt.

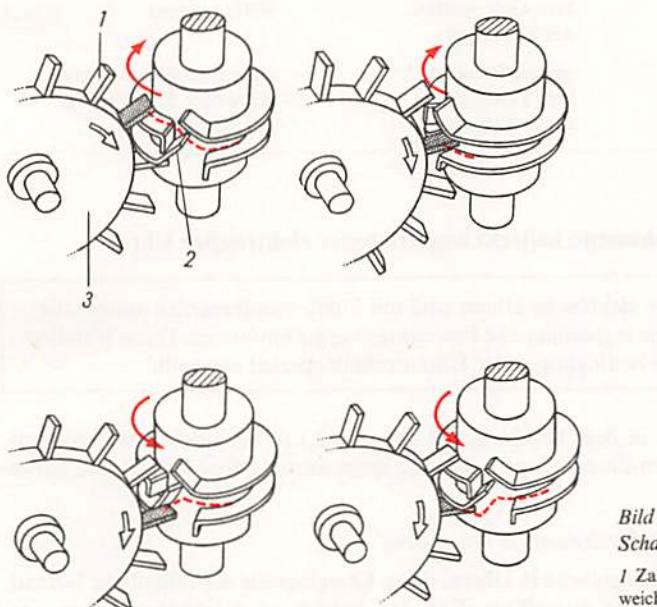


Bild 2.73
Schaltweiche

1 Zahn des Schaltrads; 2 Schaltweiche; 3 Schaltrad

Im linken Teil des Bildes sind die Stellungen des Schaltradzahns für die Einleitung der ersten und der zweiten Halbschwingung eingezeichnet. Der mittlere Teil zeigt die Bewegung und Stellung des Schaltrades bei der ersten Halbschwingung. In dieser Bewegungsphase gleitet der Zahn des Schaltrades an der schrägen Flanke der Schaltweiche hoch und dreht damit das Schaltrad um eine halbe Teilung weiter. Die beiden Führungsschienen der Kurve liegen zwischen den Zähnen des Rades. Bei Beginn der zweiten Halbschwingung gleitet der untenliegende Zahn an der unteren schrägen Flanke der Schaltweiche hoch und wird zwischen den beiden Führungsschienen der Kurve fixiert. Ein Überschwingen der Unruh wird durch die Wegbegrenzung an den Führungsschienen verhindert, die mit den Schaltradzähnen eine Amplitudengrenzung bilden. Aus ökonomischen Gründen wird wenigstens eines der Teile, entweder die Schaltweiche oder das Schaltrad, aus Plast gefertigt.

Es sind jedoch auch Ausführungen mit einer Schaltweiche aus Stahl und einem Schaltrad aus Messing mit runden Stahlzähnen üblich.

Eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der beschriebenen Schrittschaltgetriebe gibt Tafel 2.6.

Schrittschaltgetriebe	Vorteile	Nachteile
Schrittschalter mit Hebelstift und Schalttrad	geringe Schwingbelastung	hoher Verschleiß des Hebelstifts
Schrittschalter mit Fortschaltklinke	hohe Lebensdauer	räumlich aufwendig; geringer Wirkungsgrad
Schrittschalter mit Schaltanker	sichere Funktion; kein Galoppieren des Schwingers	schlechter Wirkungsgrad
Schrittschalter mit Schaltweiche	sichere Funktion; kein Galoppieren des Schwingers	schlechter Wirkungsgrad; keine freie Schwingung des Schwingers

2.5.2. Umformerelemente indirekt angetriebener elektrischer Uhren

Indirekt angetriebene elektrische Uhren sind mit Umformerelementen ausgestattet, die elektrische Energie in mechanische Bewegungsenergie umformen. Diese Wandlerelemente sind an die Bedingungen der Uhrentechnik speziell angepaßt.

Sie arbeiten nach den in den Abschnitten 2.1.4. und 2.1.6. beschriebenen Funktionsprinzipien mit speziellen Einrichtungen, die eine lange wartungsfreie Betriebszeit garantieren.

Elektromagnete als Wandlerelement für den Aufzug

Elektromagnete für Aufzugzwecke in Uhren, deren Energiequelle das öffentliche Netz ist, sind als Tauchspulmagnete ausgeführt. Für den Betrieb an Gleichstromnetzen ver-

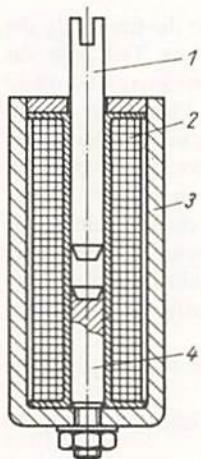


Bild 2.74. Tauchspulmagnet

1 Anker; 2 Spule; 3 Magnetjoch; 4 Magnetkern

wendet man als Anker- und Magnetkernwerkstoff Magnetweicheisen (RFe) oder Mani-
perm (RNi).

Für den Betrieb an Wechselstromnetzen werden geschichtete Anker- und Magnetkerne aus Mani-
perm eingesetzt, um die Ausbildung von Wirbelströmen zu unterbinden.

Um ein sicheres Lösen des Ankers vom Magnetkern zu garantieren, wird zwischen
Kern und Anker ein künstlicher Luftspalt angebracht. Er ist als Ms- oder Kupfer-
plättchen ausgebildet und trennt Anker und Magnetkern. Dieses Plättchen verhindert
das „Kleben“ des Ankers.

Um kurze und kräftige Aufzugsimpulse zu erhalten, haben die Elektromagnete Wick-
lungswiderstände von $50\ \Omega$ und damit kurzzeitige hohe Impulsströme, die zu einer
hohen Belastung der Kontakteinrichtung führen.

Den Prinzipaufbau eines Tauchspulmagneten zeigt Bild 2.74.

Für den Betrieb an Wechselstromnetzen werden häufig sog. Drehankerrelais verwendet
(Bild 2.75). Sie unterscheiden sich vom Tauchankermagnet in ihrem Aufbau durch ein
U-förmiges Magnetjoch, dessen Schenkel die Spulen tragen. Der Anker ist drehbar im
Magnetjoch angeordnet. Beim Einschalten des Stroms wird der Anker in eine Stellung
gedreht, die dem geringsten magnetischen Widerstand des Eisenkreises entspricht. Er wird

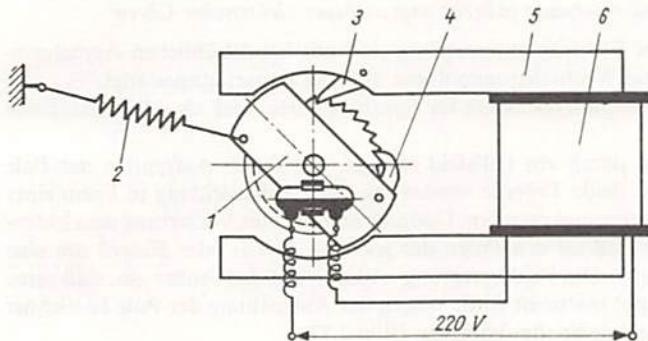


Bild 2.75. Drehankerrelais

1 Anker; 2 Antriebsfeder; 3 Sperrklinke; 4 Schubklinke; 5 Magnetjoch; 6 Spule; 7 Anker

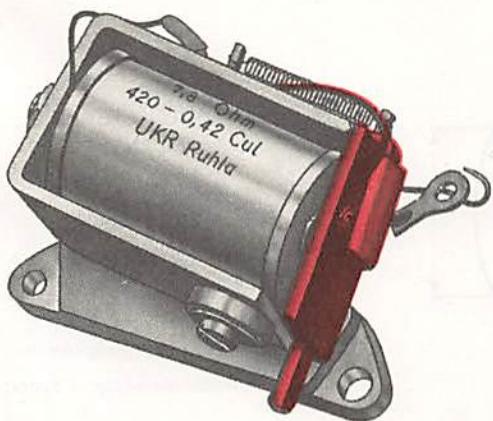


Bild 2.76
Klappankermagnet

durch die Ablaufbewegung der Antriebsfeder wieder in die Lage mit dem größten magnetischen Widerstand gedreht und beim Erreichen dieser Lage durch die Kontakt-einrichtung wieder ins Feld hineingezogen. Der Aufzugwinkel beträgt 90° . Da keine Berührung zwischen Magnetjoch und Anker besteht, sind Mittel zur Unterbindung des „Klebens“ des Ankers überflüssig.

Elektromagnete für indirekt angetriebene Uhren, die aus einem Primärelement gespeist werden, sind als sog. „Klappanermagnete“ ausgeführt (Bild 2.76).

Ihr Merkmal ist der am Joch in einer Schneide gelagerte, klappensförmige Anker, der durch eine Zugfeder in seiner Lage fixiert wird.

Diese Lage entspricht dem maximalen Luftspalt zwischen Magnetkern und Anker. Beim Einschalten des Stroms wird der Anker an den Magnetkern gezogen. Um durch verbleibenden Restmagnetismus hervorgerufenes Kleben des Ankers am Kern zu verhindern, wird ein Abweisblech aus Ms oder Cu zwischen Kern und Anker angeordnet. Als Kernmaterial wird Magnetweicheisen (RFe) und als Jochmaterial Maniperm (RNi) eingesetzt. Zur Erzielung eines kräftigen Aufzugimpulses ist der Spulenwiderstand gering. Er beträgt etwa $1,6 \dots 2,5 \Omega$. Wegen dieses geringen Gleichstromwiderstands beträgt der Impulstrom je Aufzug knapp 1 A. Dabei wird das Primärelement kurzzeitig hoch belastet.

Elektromotoren als Wandlerelemente indirekt angetriebener elektrischer Uhren

Netzgespeiste Uhren mit Elektromotorenaufzug sind mit handelsüblichen Asynchronmotoren oder Gleich- und Wechselstrommotoren üblicher Bauart ausgestattet.

Synchronmotoren als Wandlerelemente für Synchronuhren sind als selbstanlaufende Motoren ausgeführt.

Der Selbstanlauf wird durch ein Hilfsfeld erzeugt, das durch Aufspalten der Pole in zwei Teipole entsteht. Beide Teipole werden mit einer Hilfswicklung in Form einer Kurzschlußwindung (Kupferring) versehen. Dadurch entsteht eine Verzerrung des elektromagnetischen Feldes, so daß an den Polen der jeweilige Nord- oder Südpol um eine Viertelpolphase später auftritt. Die Feldverzerrung wirkt so auf den Anker ein, daß seine Drehrichtung vom Hilfspol bestimmt wird. Wegen der Aufspaltung der Pole bezeichnet man solche Motoren auch als Spaltpolmotoren (Bild 2.77).

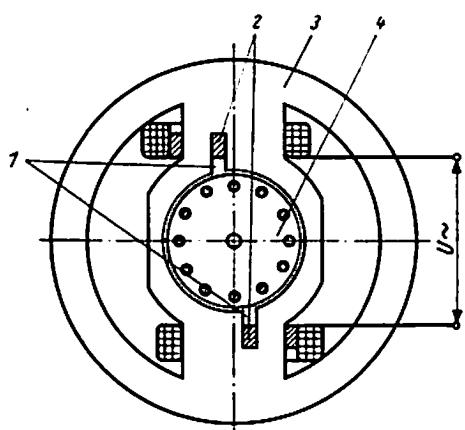


Bild 2.77. Wirkprinzip des Spaltpolmotors

1 Spaltpol; 2 Kurzschlußwindung; 3 Stator;
4 Rotor

Synchronmotoren für Uhren müssen eine Lebensdauer erreichen, die größer als 100000 h ist. Grundforderung ist, daß diese Lebensdauer ohne Wartung der Lagerung erreicht werden muß. Zur Erfüllung dieser Forderung sind Motoren mit schwerem Dauermagnetrotor nicht geeignet. Man verwendet darum langsamlaufende Synchronmotoren mit Induktionsrotor oder mit einem Käfigrotor.

Der im Bild 2.78 dargestellte langsamlaufende Synchronmotor enthält einen Rotor aus einem weichmagnetischen Spezialstahl. Er ist mit 16 fensterförmigen Öffnungen versehen. Sie üben die Funktion von Spulen mit einer Windung aus, die beim Anliegen eines Drehfeldes elektromagnetische Pole bilden. Diese werden vom Drehfeld mitgezogen.

Die Pole des Statorfeldes werden vom Boden und Deckel des Motorgehäuses gebildet. Ein Kurzschlußring aus Kupfer, der die Teilpole umfaßt, erzeugt die Feldverzerrung. Infolge der hohen Polpaarzahl läuft der Motor sehr langsam.

Aufzugmotoren für Uhren, deren Energiequelle ein Primärelement ist, sind Gleichstromkleinstmotoren. Zur Erzielung einer Gangdauer von mehr als einem Jahr an einem 1,5-V-Element der Größe R 20 müssen solche Motoren bei einer geringen Stromaufnahme hohe Leistungen abgeben. Sie müssen einen für ihre Klasse hohen Wirkungsgrad aufweisen.

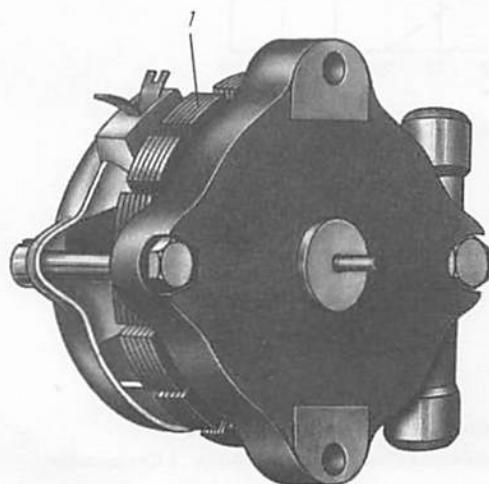


Bild 2.78. Langsamlaufender Synchronmotor

1 Pole des Stators

Die typischen Kennlinien eines Gleichstromkleinstmotors zeigt Bild 2.79. Aus der Kurve ist ableitbar, daß die Drehzahl dem Lastmoment indirekt proportional ist. Ebenso ist die Stromaufnahme der anliegenden mechanischen Last direkt proportional. Gleichstromkleinstmotoren haben einen von der Belastung abhängigen Verlauf der Wirkungsgradkennlinie. Im gezeichneten Beispiel tritt der maximale Wirkungsgrad bei 0,03 N cm auf.

Gleichstromkleinstmotoren werden mit geschichtetem und bewickeltem drei-, fünf- oder siebenpoligem Innenrotor oder mit einem außenlaufenden Glockenrotor hergestellt.

Den prinzipiellen Aufbau der beiden Motortypen zeigt Bild 2.80.

Der Gleichstromkleinstmotor mit innenlaufendem Rotor wird auch als Motor in „klassischer“ Bauweise bezeichnet. Der Rotor hat bei Motoren für Uhren meist drei „Hörner“ oder Pole und läuft in einem Dauermagneten mit geringem Luft-

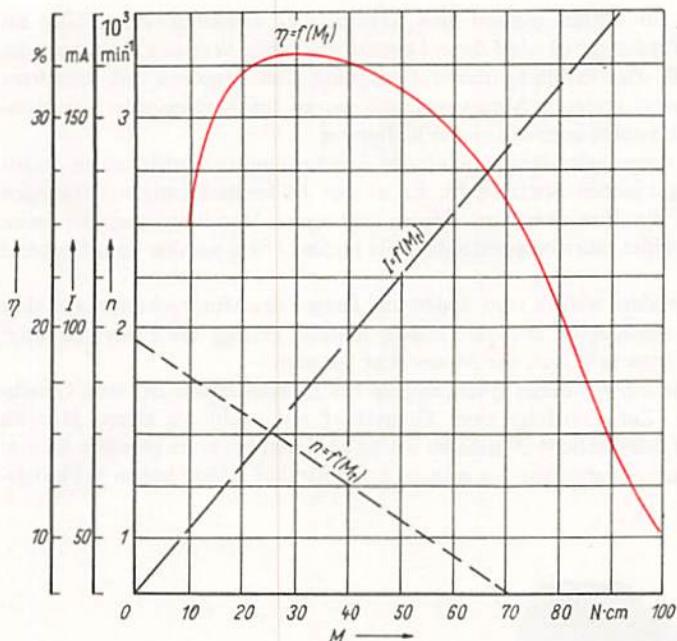


Bild 2.79. Drehmomentkennlinie eines Gleichstromkleinstmotors

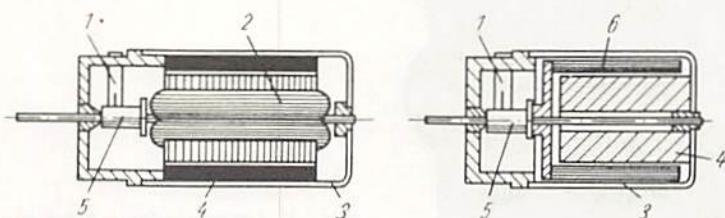


Bild 2.80. Grundsätzlicher Aufbau von Gleichstromkleinstmotoren

1 Bürste; 2 Rotor; 3 magnetischer Rückschluß (Gehäuse); 4 Dauermagnet; 5 Kollektor; 6 Glockenanker

spalt. Der Dauermagnet ist ringförmig und steckt in einem als magnetischer Rückschluß dienenden Gehäuse aus magnetischem Weicheisen.

Das vordere Lagerschild enthält die Bürsten, die am dreiteiligen Kollektor anliegen. Aus Gründen eines geringen Übergangswiderstands sind Bürsten und Kollektorlamellen aus einer Silberlegierung.

Der Gleichstromkleinstmotor mit einem Glockenrotor unterscheidet sich in seinem Aufbau vom „klassischen“ Motor durch den aus drei oder fünf Luftspulen bestehenden Rotor. Aus Stabilitätsgründen sind diese Spulen mit Plast umspritzt. Sie bilden einen Hohlzylinder, an dessen Stirnseiten die Spulen miteinander elektrisch verbunden sind. Die Motorwelle trägt einen drei- oder fünfteiligen Kollektor und den topfförmigen Rotor und ist durch den zylinderförmigen Dauermagneten hindurchgeführt. Der magnetische Rückschluß wird durch das topfförmige Motorgehäuse aus magnetischem Weicheisen gebildet. Aus Gründen einer hohen magnetischen Induktion

im Luftspalt besteht der Dauermagnet aus Alnico. Das vordere Lagerschild trägt die Bürsten und die vordere Lagerung für die Motorwelle. Bürsten und Kollektor bestehen wegen des erforderlichen geringen Übergangswiderstands aus einer Silberlegierung.

Aufzugmotoren erzeugen beim Aufziehen ein Laufgeräusch, das auf das Lagerspiel und das Schleifgeräusch der Bürsten zurückzuführen ist. Zur Dämpfung des Lagergeräusches verwendet man deshalb elastische Plastlager oder elastische Lagerelemente.

Das Geräusch der Bürsten wird durch Aufbringen von Plastkaschierungen unterdrückt. Gleichzeitig wird durch Nachdrehen des Kollektors ein sicherer Rundlauf geschaffen.

Wegen ihres Kollektoraufbaus sind Gleichstromkleinstmotoren ölempfindlich. Sie sollten nicht an den dem Kollektor zugewandten Lagerstellen geölt werden.

Ein Gleichstromkleinstmotor ist im Bild 2.81 dargestellt.

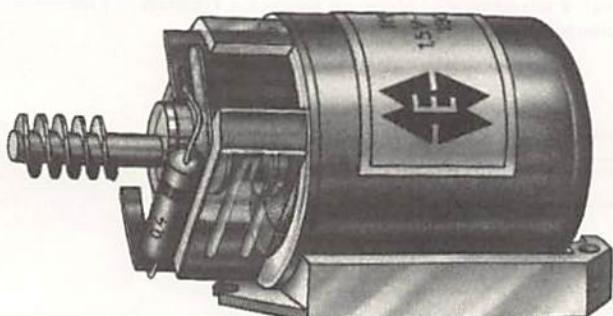


Bild 2.81. Gleichstromkleinstmotor

2.6. Anzeigemittel elektrischer Uhren

Elektrische Uhren sind mit

- Zeigeranzeigen (analoge Anzeige)
oder mit
- Ziffernanzeigen (digitale Anzeige)

ausgerüstet.

Beide Anzeigearten sind mechanische Anzeigen. Sie benutzen zur Zeitanzeige mechanische Mittel. Diese mechanischen Mittel sind in beiden Fällen durch Getriebe gesteuerte Elemente.

2.6.1. Zeigeranzeigen

Elektrische Uhren mit Zeigeranzeigen sind in ihrem Getriebeaufbau den mechanischen Uhren gleich oder ähnlich. Das „Zeigerwerk“ unterscheidet sich nicht von dem der mechanischen Uhr.

Die Bilder 2.82, 2.83 und 2.84 zeigen den Getriebeaufbau einer indirekt angetriebenen, einer direkt angetriebenen und einer durch einen Synchronmotor angetriebenen elektrischen Uhr.

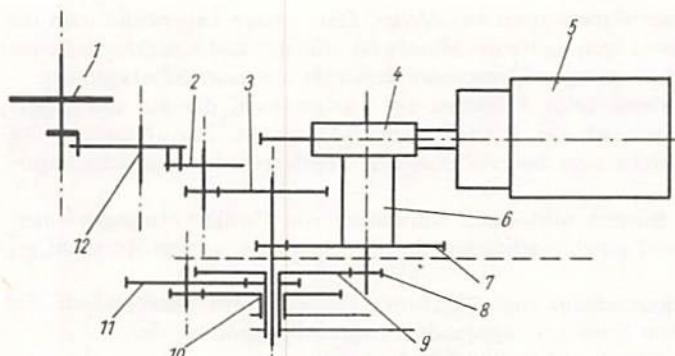


Bild 2.82. Räderschema einer Wohnraumuhr mit indirektem Antrieb

1 Unruh; 2 Ankerrad; 3 Sekundenrad; 4 Schneckenrad; 5 Motor mit Schnecke; 6 Federkern; 7 Kleinbodenrad; 8 Kleinbodenradtrieb; 9 Minutenrad; 10 Stundenrad; 11 Wechselrad; 12 Anker

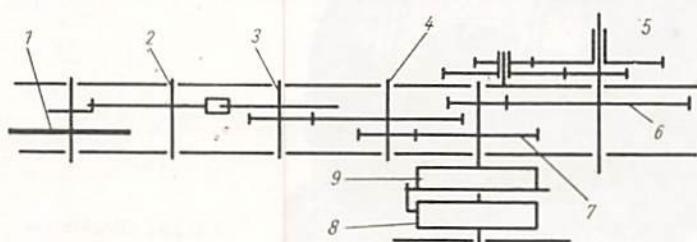


Bild 2.83. Räderschema einer Wohnraumuhr mit elektromagnetischem Aufzug

1 Unruh; 2 Anker; 3 Ankerrad; 4 Sekundenrad; 5 Zeigerwerk; 6 Minutenrad; 7 Kleinbodenrad; 8 Schwungmasse; 9 Trägheitsrotor

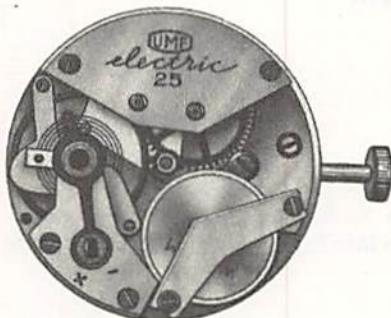


Bild 2.84. Werkansicht einer Armbanduhr mit direktem Antrieb

2.6.2. Ziffernanzeigen

Elektrische Uhren mit Ziffernanzeigen unterscheiden sich im Aufbau ihres Zeitanzeigegetriebes von der herkömmlichen mechanischen Uhr.

Man verwendet zwei unterschiedliche Anzeigemittel

- Walzenanzeigen und
- Fallplättchenanzeigen.

Anzeigen mit Ziffernscheiben beruhen auf dem Getriebeprinzip der analog anzeigenenden Uhr und stellen die Umkehrung des Ableseprinzips dar. Dabei werden die Stellung der Minuten scheibe und die Stellung der Stundenscheibe in einem Fenster abgelesen.

Walzenanzeigen bestehen aus einer „Zehner-Stunden-Walze“, einer „Einer-Stunden-Walze“, einer „Zehner-Minuten-Walze“ und einer „Einer-Minuten-Walze“.

Aus Gründen der Vereinfachung des Stundananzeigegetriebes sind die beiden Stundenwalzen zu einer 12- oder 24-Stunden-Walze zusammengefaßt.

Bei Walzenanzeigen des ersten Typs trägt die Einer-Minuten-Walze die Ziffern 0...9, die Zehner-Minuten-Walze die Ziffern 0...5, die Einer-Stunden-Walze die Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1, 2, 3, 4 und die Zehner-Stunden-Walze die Ziffern 0, 1, 2.

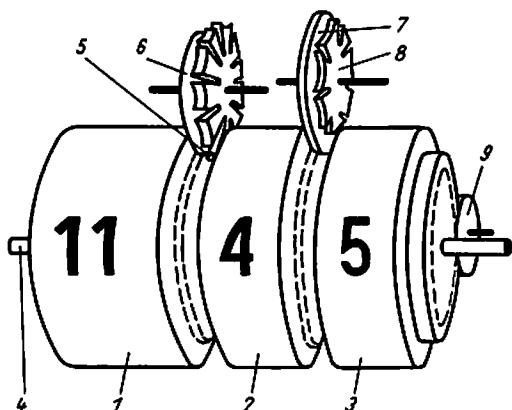


Bild 2.85. Aufbau der Ziffernanzeige mittels Walzen

1 Stundenwalze; 2 Zehner-Minuten-Walze; 3 Einer-Minuten-Walze; 4 Achse für Anzeigewalzen; 5 Schaltfänger; 6 Malteserkreuz für die Zehnerschaltung; 9 Kleinstbodenrad

Wegen der unterschiedlichen Anzahl der Ziffern auf den Walzen bestimmt die Zifferngröße der Walze mit den meisten Ziffern die Größe der übrigen Ziffern. Bild 2.85 zeigt den Aufbau einer Walzenanordnung zur digitalen Zeitanzeige. Die „Einer-Minuten-Walze“ wird vom Untersetzungsgetriebe kontinuierlich angetrieben und macht in zehn Minuten eine Umdrehung. Durch ein Malteserkreuzgetriebe wird die folgende „Zehner-Minuten-Walze“ um eine Ziffer weitergeschaltet. Der Schaltschritt entspricht 60° .

Während der Schaltpause ist die Ziffernwalze durch den Sperrzylinder des Fortschaltfingers der „Einer-Minuten-Walze“ gesperrt.

Die „Zehner-Minuten-Walze“ schaltet die „Stunden-Walze“ bei jeder vollen Umdrehung ebenfalls um einen Ziffernschritt weiter. Er beträgt 30° für 12 Ziffern dieser Walze.

Walzenanzeigen mit zweigeteilten Stundenwalzen für die 24-Stunden-Anzeige erfordern einen hohen konstruktiven Aufwand für die Umschaltung der „Zehnerstunden“ und werden seltener eingesetzt.

Ziffernanzeigen mit Ziffernwalzen nach der im Bild 2.85 dargestellten Form haben einen einfachen Aufbau. Ihr Nachteil ist der hohe Kraftbedarf beim Umschalten der vollen Stunden. In dem Augenblick müssen durch den Antrieb sowohl die „Zehner-Minuten-Walze“ als auch die „Stundenwalze“ geschaltet werden. Um sicher ablesbare Ziffern zu erhalten, ist es notwendig, relativ große Walzen zu verwenden, deren Trägheitsmoment einen erhöhten Kraftaufwand zum Umschalten erfordert.

Fallplättchenanzeigen bestehen aus zwei rechteckigen, in der Mitte waagerecht geteilten Zifternscheiben. Eine der Scheibenanordnungen trägt die Stundenziffern, die andere die Minutenziffern.

Die Zifternscheiben sind zwischen zwei kreisförmigen Haltescheiben leicht drehbar gelagert und können durch ihr Eigengewicht in ihre stabile Gleichgewichtslage fallen. Jede der rechteckigen Scheibenhälfte trägt in ihrer stehenden Lage (Bild 2.86) die obere Hälfte einer Ziffer und auf ihrer Rückseite die kopfsteckende untere Hälfte der folgenden Ziffer. Die stehende Lage der Scheibenhälfte wird durch eine Haltefeder erzwungen, die die Scheibe während der Drehbewegung der kreisförmigen Haltescheiben am oberen Rand hält. Während der Drehbewegung gleitet die Zifternscheibe von dieser Haltefeder ab und fällt nach der Freigabe durch die Feder in ihre untere hängende Lage. Dabei bildet der nun richtigstehende Teil der nachfolgenden Ziffer und der hängende Teil der Zifternscheibe die vollständige Ziffer. Bild 2.87 demonstriert den beschriebenen Bewegungsablauf.

Bei Fallplättchenanzeigen ist ein Schaltgetriebe nicht erforderlich. Der Bewegungsablauf ist kontinuierlich. Im Zeitraum von einer Minute für die Minutenanzeige und im

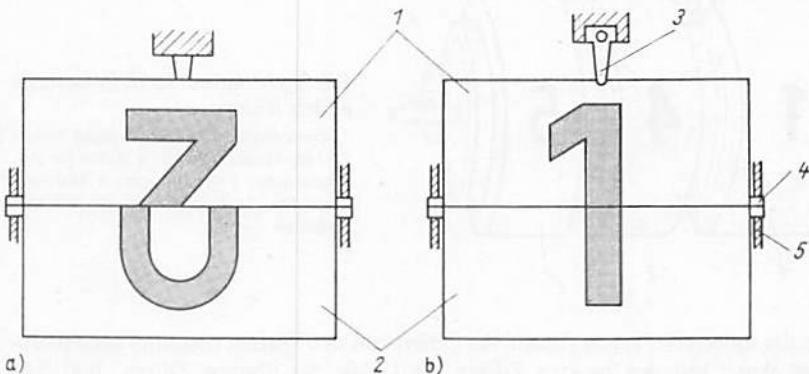


Bild 2.86. Fallplättchenanzeige

a) Ziffernrückseite; b) Ziffernvorderseite
1 stehende Ziffernhälfte; 2 hängende Ziffernhälfte; 3 Haltefeder; 4 Drehpunkt; 5 Halteschraube

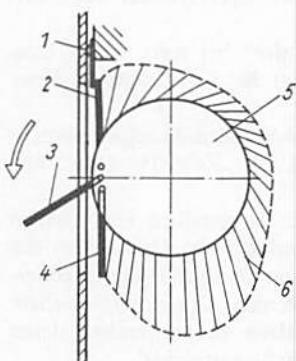


Bild 2.87. Wirkungsweise der Fallplättchenanzeige

1 Sichtblende; 2 stehende Ziffernhälfte; 3 fallende obere Ziffernhälfte; 4 hängende Ziffernhälfte; 5 Haltescheibe; 6 Fallplättchen

Zeitraum einer Stunde für die Stundenanzeige bewegt sich die Ziffer um einen geringen Betrag von oben nach unten.

Das Getriebe zum Antrieb der Fallplättchenanzeige unterscheidet sich nicht prinzipiell vom Getriebe einer Zeigeranzeige. Bild 2.88 erläutert die Zuordnung der Getriebe-funktionen zum Anzeigemechanismus.

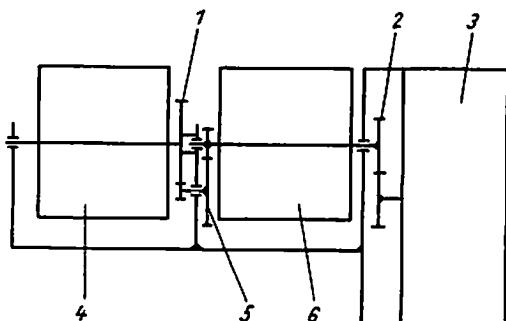


Bild 2.88. Getriebeschema einer Fallplättchenanzeige

1 Stundenrad; 2 Minutenrad; 3 Uhrwerk;
4 Fallplättchenanzeige (Stunden); 5 Wechselrad; 6 Fallplättchenanzeige (Minuten)

Fallplättchenanzeigen lassen sich mit ausreichend großen Ziffern aufbauen. Die Zifferngröße ist nicht unmittelbar mit der Zifferanzahl verbunden.

Die Funktion der Fallplättchenanzeige ist lageabhängig, da die Schwerkraft die Lage der Ziffernscheibe bestimmt. Aus diesem Grund sind Fallplättchenanzeigen nur für statische Uhren geeignet.

Der zum Fortschalten der Anzeigen notwendige Kraftaufwand ist geringer als bei Walzenanzeigen. Es treten keine periodischen Lastspitzen auf. Eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der Ziffernanzeigen gibt die Tafel 2.7.

Tafel 2.7. Vor- und Nachteile der Ziffernanzeigen

Ziffernanzeigeelement	Vorteile	Nachteile
Scheibenanzeige	lageunabhängig; unkomplizierter Aufbau	große Scheiben für lesbare Ziffern notwendig; springende Stunde notwendig; schlecht auswertbar
Walzenanzeige	lageunabhängig; gute Ablesbarkeit	große Walzen für lesbare Ziffern notwendig; Schrittschalt- getriebe erforderlich; periodische Last- schwankungen für den Antrieb
Fallplättchenanzeige	gute Ablesbarkeit; ausreichende Zifferngröße leicht zu verwirklichen; kontinuierlicher Lastverlauf im Getriebe	lageabhängig; komplizierter Aufbau der Anzeige

3. Elektronische Uhren

3.1. Bauelemente elektronischer Uhren

Zur Steuerung indirekt und direkt angetriebener elektrischer Uhren verwendet man elektrische Kontakte. Diese arbeiten nicht verschleißfrei. Sie unterliegen, wenn sie nicht durch besondere Mittel gegen Umwelteinflüsse geschützt sind, der Verschmutzung und der Korrosion. Ihre Zuverlässigkeit verringert sich mit zunehmender Betriebsdauer. Ihre Lebensdauer ist begrenzt. Sie hängt von der Anzahl der Schaltspiele ab.

Da sie mechanische Elemente sind, arbeiten sie nicht trägeheitslos und können über bestimmte Schaltfrequenzen hinaus nicht betrieben werden. Ihr Einsatzbereich ist begrenzt und die mögliche Schaltfrequenz niedrig.

Wegen dieser Eigenschaften elektrischer Kontakte hat man ihre Wirkungsweise durch trägeheitslose, nicht den Umwelteinflüssen unterliegende elektronische Elemente ersetzt.

Solche elektronischen Schalter sind Elektronenröhren oder Halbleiterbauelemente in Form von Transistoren und integrierten elektronischen Schaltkreisen.

Elektrische Uhren mit einer kontaktlosen elektronischen Steuerung bezeichnet man als elektronische Uhren.

Eine elektronische Uhr besteht aus den grundsätzlichen Bauelementen:

- elektronischer Schalter
- Frequenznormal
- elektronischer Wandler oder Dekodierer
- Anzeigeelemente zur analogen oder digitalen Zeitanzeige
- elektrische Energiequelle.

Je nach Uhrentyp werden die Teilelemente eines in sich geschlossenen Zeitanzeigesystems mit eigenem Frequenznormal zusammengefügt.

Kennzeichnendes Bauelement der elektronischen Uhr ist das elektronisch gesteuerte Zeitnormal. Die elektronische Steuerung wird mit Halbleiterbauelementen verwirklicht. Elektronenröhren haben für elektronische Uhren keine Bedeutung.

3.1.1. Transistoren

Transistoren sind aktive elektronische Bauelemente. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Halbleitereffekt, der bei Stoffen auftritt, die zwischen elektrischen Nichtleitern (Isolatoren) und elektrischen Leitern (Metallen) liegen.

Solche Halbleiterstoffe sind Germanium (Ge) und Silizium (Si). Sie zeigen bei Raumtemperatur durch frei gewordene Elektronen eine temperaturabhängige Leitfähigkeit.

Durch Dotieren (ein Verfahren, bei dem Fremdatome in einen Halbleiterkristall eingepflanzt werden) des chemisch 4wertigen Halbleiterwerkstoffs mit einem chemisch 5wertigen Stoff, wie Antimon, Arsen, Phosphor, läßt sich ein Überschuß an Elektronen erzeugen, der zu einer temperaturunabhängigen n-Leitfähigkeit des Halbleiterwerkstoffs führt.

Dotiert man mit einem 3wertigen Stoff, so erhält man einen Elektronenmangel oder eine p-Leitfähigkeit. Halbleiter für Transistoren werden sowohl mit 5- als auch mit 3wertigen Stoffen dotiert. Es entstehen zwei unterschiedliche Leitfähigkeitsarten, die an ihren Berührungsstellen eine Grenzschicht, auch Grenzzone genannt, bilden. Die Grenzonen eines Transistors wirken wie die Sperrelemente eines Ventils. Sie bestimmen die Arbeitsweise des Transistors.

Der Halbleiterkristall eines Transistors ist so dotiert, daß entweder die Leitfähigkeitsarten p-n-p oder die Leitfähigkeitsarten n-p-n auftreten. Durch diese Dotierung entstehen zwei Grenzonen mit Ventil- oder Diodenwirkung. Die Polung dieser Dioden entspricht der Polung der Halbleiterschichten. Entsprechend der Folge der Leitfähigkeitsarten unterscheidet man pnp-Transistoren und npn-Transistoren (Bild 3.1.).

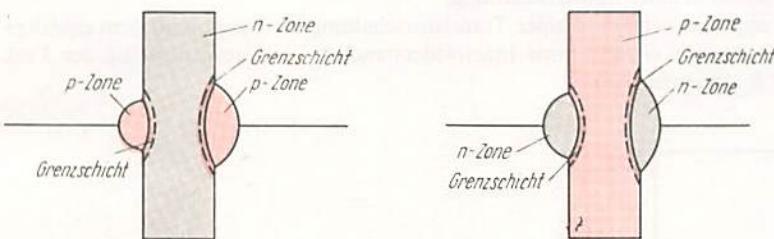


Bild 3.1. Leitfähigkeitstypen pnp- und npn-Transistor

Nach ihrer Wirkungsweise werden die drei Dotierungsgebiete als Emitter, Basis und Kollektor bezeichnet.

Die Wirkungsweise des Transistors besteht darin, daß der über die Emitter-Basis-Strecke fließende Strom den über die Emitter-Kollektor-Strecke fließenden Kollektorstrom steuert. Dieser ist um den Faktor 100 bis 500 größer als der Basisstrom. Durch Wahl der Basisspannung läßt sich der Kollektorstrom so beeinflussen, daß sich eine Steuerung einstellt und das Bauelement als Verstärker arbeitet.

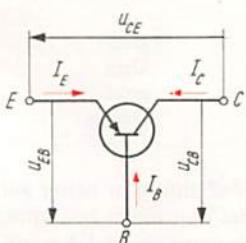


Bild 3.2. Ströme und Spannungen am Transistor

Da zum Steuern von Transistoren Strom und Spannung erforderlich sind, arbeiten sie nicht leistungslos. Ihr Eingangswiderstand ist im Vergleich zu dem der Elektronenröhre klein. Er ergibt sich jedoch hauptsächlich aus der Grundschaltung, in der ein Transistor betrieben wird.

Bild 3.2 zeigt die Ströme und Spannungen an einem Transistor und die dazu gültigen mathematisch-physikalischen Beziehungen. Die zum Transistor hinfließenden Ströme werden negativ gezählt.

Kenndaten des Transistors

Transistoren können in drei Grundschatungen betrieben werden. Jede Grundschatzung wird nach der Transistorelektrode bezeichnet, die gleichzeitig am Eingang und am Ausgang liegt. Danach unterscheidet man:

- Emitterschaltung
- Basisschaltung
- Kollektorschaltung.

Zur Kennzeichnung der Eigenschaften eines Transistors beschreibt man die Kenndaten seines Verhaltens in einer Emitterschaltung.

Bild 3.3 zeigt das Schaltbild einer Transistorschaltung als Vierpol, an dem eingangsseitig der Generator G mit einem Innenwiderstand R_G und ausgangsseitig der Lastwiderstand R_L angeschlossen ist.

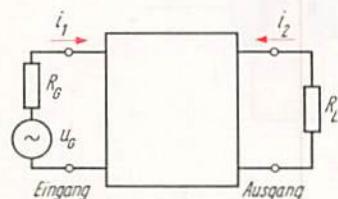


Bild 3.3. Übersichtsschaltplan eines Transistors als Vierpol

Die Eigenschaften eines Transistors lassen sich aus seinem Kennlinienfeld ablesen. Ein solches Kennlinienfeld ist im Bild 3.4, die Schaltbilder der drei Grundschatungen des Transistors sind im Bild 3.5a, b, c dargestellt. Diese Grundschatungen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, wie sie in Tafel 3.1 zusammengestellt sind.

Tafel 3.1. Transistorschaltungen und ihre Eigenschaften

Kenngrößen	Transistor in		
	Emitter- schaltung	Basis- schaltung	Kollekt- orschaltung
Eingangswiderstand	mittel	klein	groß
Ausgangswiderstand	mittel	groß	klein
Stromverstärkung	groß	kleiner 1	groß
Grenzfrequenz	niedrig	hoch	niedrig

Welche Eigenschaften ein Transistor in der jeweiligen Grundschatzung in bezug auf seine Verstärkereigenschaften hat, wird durch den Arbeitspunkt des Transistors bestimmt. Er ergibt sich aus der Wahl der an den Elektroden anliegenden Spannungen und den auf-

tretenen Strömen. Der Arbeitspunkt ist in das Kennlinienfeld im Bild 3.4 eingezeichnet.

Die Widerstandsgerade für den im Kollektorkreis liegenden Lastwiderstand R_L (Bild 3.4) geht durch diesen Arbeitspunkt A und fixiert ihn.

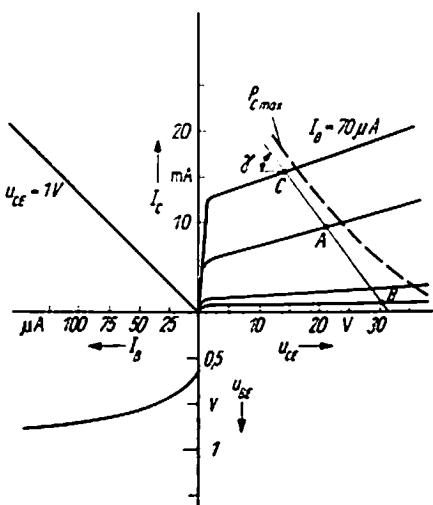


Bild 3.4. Kennlinienbild eines Transistors

Für jeden Transistor gibt es eine maximal zulässige Kollektorverlustleistung, bei deren Überschreiten er thermisch zerstört wird. Sie ist die zulässige Grenzlast für den Transistor und als Hyperbel-Ast in das Ausgangskennlinienfeld eingezeichnet. Die Widerstandsgerade des Lastwiderstandes muß deshalb unterhalb dieses Hyperbel-Astes verlaufen, wenn der Transistor als Verstärker betrieben wird. Nach dem Kennlinienfeld kann ein Transistor in zwei Extremzuständen betrieben werden. Ein Zustand wird durch die Festlegung des Arbeitspunkts zur Erzielung des maximal zulässigen Kollektorstroms, der andere durch die Festlegung des Arbeitspunkts auf den Kollektorstrom Null erzielt. Dadurch wird der Transistor zum elektronischen Schalter. Das Kennlinienfeld für diesen Einsatz des Transistors ist im Bild 3.4 enthalten.

Da der Wechsel vom Schaltzustand „Ein“ in den Schaltzustand „Aus“ sehr rasch erfolgt, darf die Widerstandsgerade die Kurve der maximalen Verlustleistung beim Umschalten auf den anderen Zustand schneiden.

Als elektronischer Schalter zeichnet sich der Transistor durch hohe Zuverlässigkeit, Verschleißfestigkeit, lange Lebensdauer, konstante Schaltereigenschaften und Schmutzunempfindlichkeit aus.

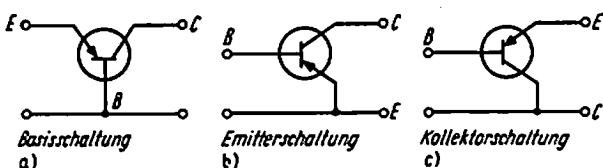


Bild 3.5. Die drei Grundschaltungen eines Transistors

a) Basisschaltung; b) Emitterschaltung; c) Kollektorschaltung

Verglichen mit dem mechanischen Schalter hat der Transistorschalter die Nachteile der Temperaturempfindlichkeit und das Auftreten eines Reststromes im „Aus“-Zustand.

Elektronische Uhren werden aus Gründen einer hohen Betriebszuverlässigkeit nur mit Transistorschaltern aufgebaut. Wegen der günstigen Eigenschaften in bezug auf Temperaturempfindlichkeit und geringen Reststrom im „Aus“-Zustand verwendet man für elektronische Uhren heute nur noch Silizium-Transistoren.

3.1.2. Integrierte Schaltungen in elektronischen Uhren

Einfache elektronische Uhren, deren Schwingfrequenz zwischen 2 Hz und 300 Hz liegt, enthalten diskrete elektronische Schaltungen. Diese sind aus einzelnen (diskreten) Bauelementen wie Transistoren, Widerständen und Kondensatoren zusammengesetzt. Die Bauelemente werden auf einer Leiterplatte angeordnet und durch Leiterzüge zu einer funktionsfähigen Schaltung verbunden.

Diskrete Schaltungen sind bei einer großen Anzahl von Bauelementen, wie sie für Quarzuhren notwendig sind, zu raumaufwendig und zu unwirtschaftlich. Man setzt darum bei diesen Uhren „integrierte“ Schaltkreise ein.

Solche Schaltungen beruhen auf der Erkenntnis, daß man die einzelnen Funktionselemente wie Widerstände, Transistoren und kleine Kapazitäten (Kondensatoren) auch durch Verfahren der Halbleitertechnologie herstellen kann. Im Herstellungsprozeß werden die einzelnen Funktionselemente als schaltungstechnische Einheit behandelt und in stark verkleinerter Form auf einem Siliziumscheibchen, einem Chip, untergebracht. Dieser Chip ist Bestandteil einer Siliziumscheibe von 3 oder 4 Zoll Durchmesser und 0,4 mm Dicke (Seite 91), die eine Vielzahl integrierter Schaltkreise enthält. Diese werden durch Riten und Brechen der großen Siliziumscheibe vereinzelt.

Integrierte Schaltungen werden als IC (Integrated Circuit) bezeichnet. Sie enthalten immer mehr als zwei Funktionselemente, die sich im Gegensatz zur diskreten Schaltung nicht voneinander trennen lassen.

Enthalten solche integrierten Schaltungen elektronische Verknüpfungen, die die Antriebsspannung oder die Amplitude in Abhängigkeit von der Belastung regeln, so bezeichnet man sie als analoge oder als lineare Schaltungen. Analoge integrierte elektronische Schaltungen sind Kennzeichen der einfachen elektronischen Uhren.

Elektronische Uhren mit piezoelektrischen Schwingern, wie Quarzuhren, arbeiten mit Schwingungszahlen zwischen 8192 Hz und 4,19 MHz. Diese hohen Frequenzen müssen zur Verwertung als Zeitmaß auf Schwingungszahlen zwischen 60 Hz und 0,5 Hz heruntergeteilt werden. Die „Frequenzteilung“ kann nur durch elektronische Schaltungen erfolgen, deren eindeutiges Verhalten durch äußere Einflüsse wie Schwankungen der Betriebsspannung, Temperatureinflüsse sowie Änderungen der Eingangs- und der Ausgangsbelastung nicht beeinflußt wird. Solche Schaltungen sind digitale Schaltungen.

Digitale Schaltungen arbeiten nach den Gesetzen der binären Logik, deren Zahlensystem auf der Zahl 2 aufbaut. Sie zeichnen sich durch die zwei eindeutigen elektrischen Zustände „leitend“ und „nichtleitend“ aus.

Grundelemente der digitalen Schaltungen in Uhren sind

- Binärteiler
- Impulsformer
- Impulsverstärker.

Sie sind in integrierten digitalen Schaltungen miteinander verknüpft und bilden in ihrer Zusammenschaltung den „Uhrenschaltkreis“.

Die genannten Grundelemente sind aus den Schaltungsprinzipien des Aufbaus diskreter Schaltungen mit Transistoren abgeleitet. Die Wirkungen von Widerständen und kleinen Kondensatoren werden dabei durch Widerstandsstrecken und Übergangswiderstände auf dem Halbleiterkristall und durch Leitbahnkapazitäten der Halbleiterschaltung erzeugt. Ihre Wirkungsweise ist in den Bildern 3.6 bis 3.9 dargestellt.

Binärteiler teilen eine an ihrem Eingang liegende Impulsfolge im Verhältnis 2:1. Dabei wird nur jeder zweite Impuls an die folgende Schaltungsstufe weitergeleitet (Bilder 3.6 und 3.7).

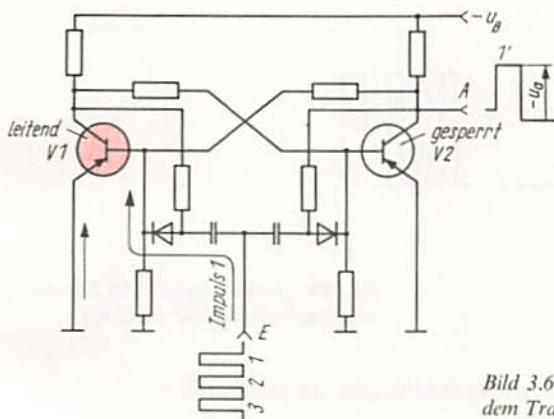


Bild 3.6. Diskreter Frequenzteiler mit leitendem Transistor 1; Impuls 1' am Ausgang A

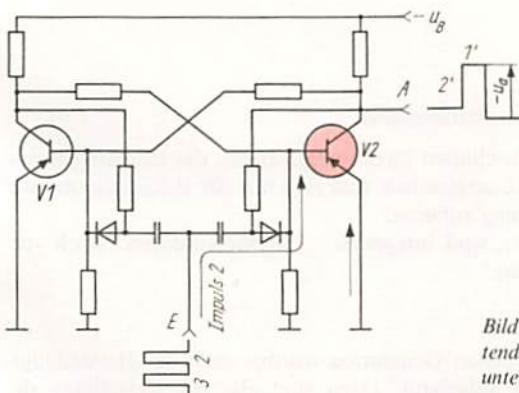


Bild 3.7. Diskreter Frequenzteiler mit leitendem Transistor 2; Impuls 2' am Ausgang A unterdrückt

Impulsformer beeinflussen die Form des ankommenden Impulses so, daß an ihrem Ausgang eine entsprechend rechteckige Impulsform erscheint, die das eindeutige Arbeiten der folgenden Schaltungsstufe ermöglicht (Bild 3.8).

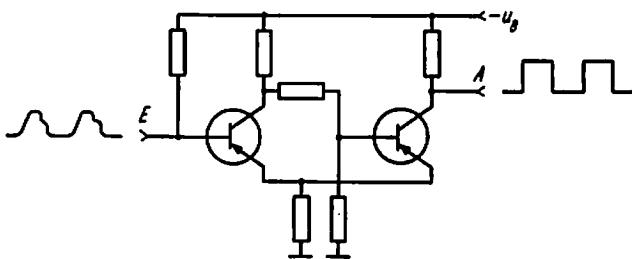


Bild 3.8. Wirkungsweise eines Impulsformers in diskreter Bauweise

Impulsverstärker (Bild 3.9) verstärken die an ihrem Eingang anliegenden Steuerimpulse in bezug auf ihre Strom- oder Spannungsamplitude zur Ansteuerung der folgenden Schaltungsstufen elektromechanischer Wandler. Man bezeichnet sie auch als Treiberstufen.

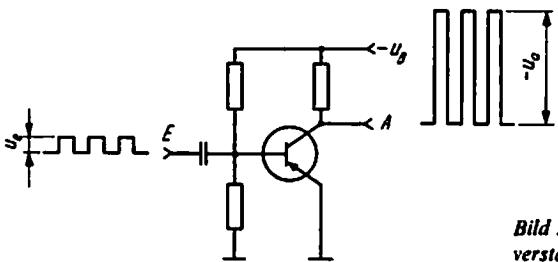


Bild 3.9. Wirkungsweise eines Impulsverstärkers in diskreter Bauweise

Elektronische Uhren erfordern integrierte Schaltungen, die sich durch

- geringe Leistungsaufnahme,
 - niedrige Betriebsspannung,
 - geringe Temperaturabhängigkeit,
 - lange Lebensdauer,
 - hohe Zuverlässigkeit und
 - geringe Spannungsabhängigkeit der Betriebsdaten

auszeichnen. Sie müssen an die Eigenschaften ihrer Energiequelle, des Primärelements, angepaßt sein, die einen begrenzten Energieinhalt und eine mit der Belastung und der Betriebsdauer fallende Betriebsspannung aufweist.

Um diese Forderungen zu erfüllen, sind integrierte „Uhrenschaltungen“ nach speziellen Integrationstechniken aufgebaut.

Binäre Schaltkreise

Digitale integrierte Schaltungen der ersten Generation wurden nach der Herstellungs-technologie der Siliziumtransistoren aufgebaut. Dazu sind alle zur Herstellung der Schaltungsfunktion notwendigen Transistoren auf einem Siliziumchip aufgebracht und nach den Gesetzen der logischen Verknüpfung verbunden worden.

Da sie sowohl pnp- als auch npn-Transistoren enthalten, die zueinander komplementär (ergänzend) sind, bezeichnet man sie als bipolare Komplementärschaltungen.

Integrierte Schaltungen lassen sich wirtschaftlich nur herstellen, wenn man möglichst viele integrierte Schaltungen der gleichen Art auf einer möglichst großen Siliziumscheibe gleichzeitig erzeugt und diese danach durch Riten und Brechen vereinzelt. Eine solche Siliziumscheibe bezeichnet man als Wafer. Sie ist im Bild 3.10 abgebildet.

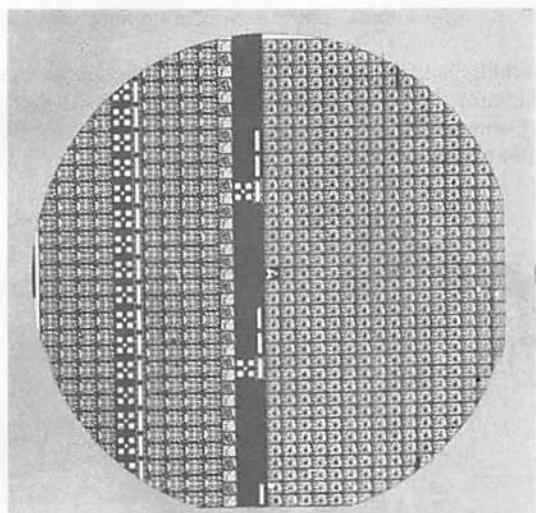


Bild 3.10. Waferscheibe für integrierte Schaltungen

Schaltkreise in I²L-Technik

Bipolare Schaltkreise der ersten Generation haben für Schaltkreise elektronischer Uhren keine Bedeutung mehr. Eine Weiterentwicklung der bipolaren Integrationstechnik ist die I²L-Technik. Ihre Bezeichnung leitet sich aus dem Begriff „Integrated Injektion Logik“ ab.

Bei dieser Technologie wird der pnp-Transistor in den npn-Transistor integriert (injektiert). Dadurch verringert sich der Flächenbedarf auf der Siliziumfläche auf ein Zehntel der ursprünglichen Größe. Gleichzeitig können im Schaltungsverband sowohl digitale als auch analoge Schaltungen verwirklicht werden. Es lassen sich in Teilerschaltungen auch Regelschaltungen zur Regelung einfacher transistorgesteuerter Motoren einbauen.

Integrierte Uhrenschaltkreise in CMOS-Technik

Für elektronische Uhren haben integrierte Schaltungen in CMOS-Technik die größte Bedeutung. Schaltkreise, die in dieser Technik ausgeführt sind, erfüllen die Forderungen

- geringste Energieaufnahme aus einem Primärelement mit kleinem Energieinhalt zur Verwirklichung einer langen Gangzeit der Uhr
- hohe Stabilität der elektrischen Eigenschaften bei fallender Versorgungsspannung bis zur Entladeschlußspannung, Nennbetriebsspannung 1,5 V
- hohe Stabilität der elektrischen Eigenschaften im Bereich der Betriebstemperatur von +4 bis +36 °C
- hohe Zuverlässigkeit und Sicherheit.

Die CMOS-Technik baut auf dem Funktionsprinzip des MOS-Feldefekttransistors auf. MOS-Feldefekttransistoren sind Verstärkerelemente mit hohem Eingangswiderstand. Er beträgt etwa 10^{10} bis $10^{12} \Omega$.

MOS(metal-oxid-semiconductor)-Feldefekttransistoren (FETs) bestehen aus einem n-leitenden Siliziumsubstrat, auf dem sich in einem genau festgelegten Abstand (Kanal-länge) zwei Elektroden, Source S (Quelle) und Drain D (Senke), befinden. Auf das Siliziumsubstrat ist eine SiO_2 -Schicht aufgedampft, auf der wiederum eine Metallschicht ruht.

Die über dem Kanal liegende Metallschicht bildet die Gate(Tor)-Elektrode. Sie hat einen Aufbau wie ein Plattenkondensator. Das Dielektrikum entsteht durch die SiO_2 -Schicht. Source und Drain sind p-leitende Zonen auf dem n-leitenden Si-Substrat. Bild 3.11 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines MOS-FETs.

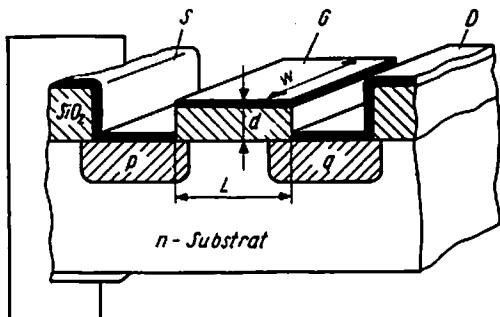


Bild 3.11. MOS-FET

S Source; G Gate; D Drain; w Kanalbreite; d Gate-Oxid-Dicke; L Kanallänge

Legt man an das Gate eine negative Spannung gegenüber dem Substrat, so wird der Kanal p-leitend, verbindet man dabei die Elektroden D und S mit einer Spannung, so fließt ein Strom I_D . Dieser Strom läßt sich durch die Gate-Source-Spannung steuern.

Man erkennt, daß ein MOS-FET wie ein steuerbarer Widerstand wirkt, Bild 3.12 zeigt seine Kennlinie. Das Schaltsymbol ist über die Kennlinie gezeichnet.

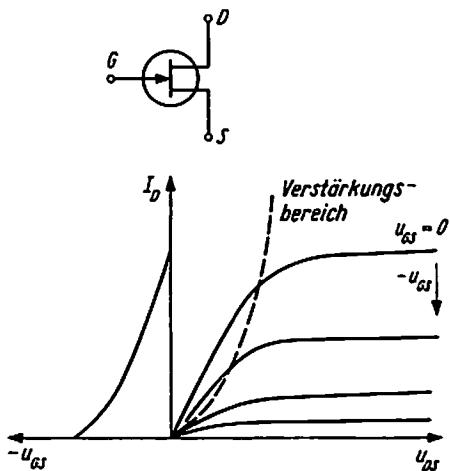


Bild 3.12. Schaltbild und Kennlinie eines MOS-FETs

MOS-Transistoren mit p-leitendem Kanal bezeichnet man als p-Kanal-MOS-FET. Verwendet man ein p-dotiertes Siliziumsubstrat, so erhält man einen n-Kanal-MOS-FET.

MOS-Schaltungen lassen sich mit weniger Prozeßschritten als bipolare Schaltungen herstellen.

Integriert man in einer Schaltung sowohl p-leitende als auch n-leitende MOS-FETs, so bezeichnet man die Schaltung als komplementäre MOS-Schaltung oder als CMOS-Schaltung.

Da MOS-Schaltungen allgemein hohe Versorgungsspannungen von 20 V benötigen, hat man durch Einsatz von Siliziumnitrid anstelle von Siliziumoxid die Schwellenspannung gesenkt. Solche Schaltungen arbeiten bis zu Versorgungsspannungen von 1,35 V. Setzt man diese Technologie für CMOS-Schaltungen ein, so lässt sich zusätzlich zur Verringerung der Versorgungsspannung auch die Stromaufnahme für bestimmte Schaltungen erheblich senken. Im Gegensatz zu bipolaren Schaltkreisen kann man in MOS-Schaltungen auf die Integration von Widerständen und Kondensatoren bei logischen Schaltungen verzichten.

Für die Uhrentechnik sind die Grundelemente in logischen Schaltungen der Inverter (Bild 3.13) und die Übertragungsglieder, die zu Frequenzteilern zusammengeschaltet werden.

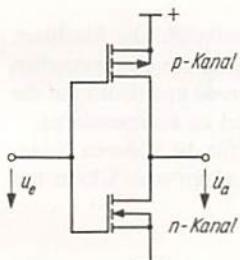


Bild 3.13. Inverter

Ersetzt man die Metallisierungsschicht des Gates durch eine polykristalline Siliziumschicht, lässt sich die Schwellenspannung der Schaltung heruntersetzen. Man bezeichnet diese Technik als Silicon-Gate-Technik, die in CMOS-Schaltkreisen eine minimale Speisespannung von 1,1 V erfordert, hohe Arbeitsfrequenzen ermöglicht und als mehrstufige Teilerschaltung nur 0,03 μ A/kHz benötigt.

Wird anstelle eines Siliziumsubstrats ein Saphirsubstrat verwendet und integriert man in die Siliziumschicht auf diesem Substrat eine komplementäre Schaltung, so lassen sich die Stromaufnahme und die Leistungsaufnahme noch weiter senken. Man bezeichnet eine solche Schaltung als SOS (Silicon-on-Sapphire)-Schaltung. Sie wird für Armbanduhren mit 4,19 MHz Quarzfrequenz und 23 Teilerstufen eingesetzt.

3.2. Wirkungsweise elektronischer Uhren

Elektronische Uhren sind ihrem Wirkprinzip entsprechend von der elektrischen Uhr mit Kontaktsteuerung abgeleitet.

Die Vorteile der trägeheitslos arbeitenden Swingersteuerung durch elektronische Mittel haben Lösungen, wie sie als indirekt angetriebene Uhren für elektrische Uhren typisch sind, überflüssig gemacht.

Elektronische Uhren sind aus diesem Grund direkt angetriebene Uhren mit eigenem Frequenznormal, dessen Antrieb direkt aus der Spannungsquelle erfolgt. Solche Uhren erreichen wegen der höheren Genauigkeit der Swinger Gangleistungen, die um den Faktor 10 bis 100 besser sind als die herkömmlicher mechanischer Swinger. Gleichzeitig geht die Abhängigkeit der Schwingfrequenz von der Lage des Swingers zurück.

3.2.1. Elektronische Uhren mit direktem Antrieb

Elektronische Uhren mit direktem Antrieb arbeiten anstelle des Steuerkontakte mit einem Schalttransistor. Dieser hat die gleichen Aufgaben wie der Steuerkontakt.

Sie erreichen bei gleichem Swingermotor keine höheren Gangleistungen als gleichartige kontaktgesteuerte Uhren. Folgende Eigenschaften sind kennzeichnend:

- hohe Zuverlässigkeit der Schalterelemente
- hohe Stabilität der Schaltersteuerung
- spannungsabhängige Gangleistung
- begrenzte Temperaturabhängigkeit der elektronischen Schaltung und der Gangleistung.

Im Gegensatz zu kontaktgesteuerten elektrischen Uhren ist es möglich, die Einflüsse, die aus der fallenden Betriebsspannung, der Temperaturabhängigkeit des elektronischen Schalters und der Größe der Verstärkung auf die Swingeramplitude und damit auf die Genauigkeit des Swingers entstehen, durch elektronische Mittel zu kompensieren.

Man verwendet dazu stabilisierende Schaltungen, die Ursache für die höheren Gangleistungen elektronischer Uhren mit gleichem Grundaufbau wie elektrische Uhren mit direktem Antrieb sind.

Nach der Art ihres Swingermotors unterscheidet man:

- Drehschwingerantriebe
- tonfrequente Antriebe
- hochfrequente Antriebe.

3.2.1.1. Drehschwingerantrieb

Wie beim kontaktgesteuerten Antrieb ist beim Drehschwinger der Pendelmotor mit Transistorsteuerung die Grundlage des Antriebsprinzips. Beim Pendelmotor werden die Steuerimpulse für den Schalttransistor durch den Antriebsmagneten erzeugt. Zur Erzeugung dieser Steuerimpulse wird in einer Spule eine Spannung induziert, die über die Basis des Schalttransistors den durch die Antriebsspule fließenden Kollektorstrom ein- und ausschaltet. Bild 3.14 zeigt den Prinzipaufbau eines Pendelmotors mit elektronischer Steuerung.

Zur Weiterleitung und Umformung der Antriebsbewegung verwendet man Schaltgetriebe. Diese Schaltgetriebe entsprechen den Umformerelementen elektrischer Uhren nach 2.5. Die Weiterleitung der Drehbewegung zur Zeitanzeige übernimmt ein übliches Rädergetriebe. Dieses ist dem Räderwerk einer elektrischen Uhr mit kontaktgesteuertem Pendelmotor gleich.

Kennzeichen elektronischer Uhren mit Drehschwingerantrieb ist der Unruhmotor mit elektronischer Steuerung. Die Steuerung des Drehschwingers übernimmt ein Schalttransistor oder ein einfacher integrierter Schaltkreis, dessen Steuersignal vom Swinger

selbst erzeugt wird. Die einfachste Steuerung entspricht in ihrer Funktion der Steuerung des elektronischen Pendelmotors.

Drehschwingerantriebe werden als

- Unruhmotoren mit schwingendem Magnetsystem oder
- Unruhmotoren mit schwingender Antriebsspule

gebaut.

Elektronische Uhren mit Drehschwingerantrieb sind in ihrem prinzipiellen Aufbau mit dem Aufbau elektrischer Uhren mit kontaktgesteuertem Unruhmotor identisch. Die Nennfrequenzen der Unruhmotoren sind 2 Hz, 2,5 Hz, 3 Hz, 4 Hz, 5 Hz. Bild 3.15 zeigt den Übersichtsschaltplan elektronischer Uhren mit Drehschwingerantrieb.

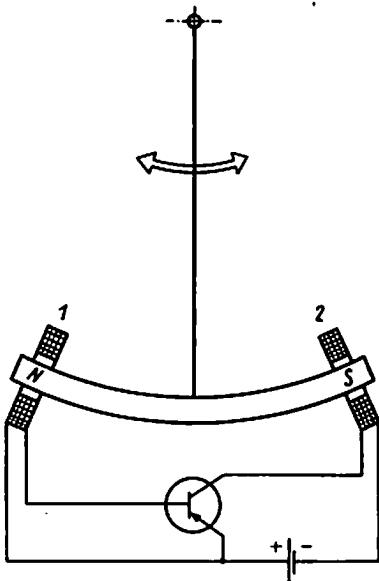


Bild 3.14. Prinzipieller Aufbau eines Pendelmotors mit Transistorsteuerung
1 Steuerspule; 2 Antriebsspule

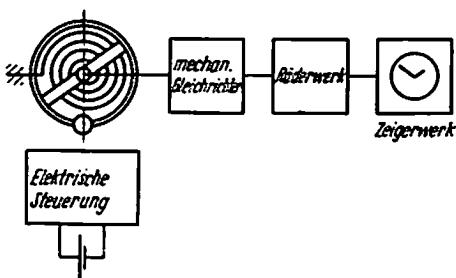


Bild 3.15. Übersichtsschaltplan einer elektronischen Uhr mit Drehschwingersteuerung

Elektronisch gesteuerte Pendelmotoren und Drehschwinger mit einfacherem Steuerungsaufbau zeigen ein spannungs- und temperaturabhängiges Gangverhalten.

Wie alle Unruhschwinger sind die Unruhmotoren mit elektronischer Steuerung lage-abhängig. Der Einfluß der Betriebslage des Schwingers wird mit zunehmender Nennfrequenz geringer. Zur Beseitigung dieser negativen Eigenschaften auf das Gangverhalten wendet man bei einfachen Uhren Wirbelstrombremsen und bei hochwertigen Uhren elektronische Stabilisierungsschaltungen an.

3.2.1.2. Tonfrequenter Antrieb

Schwingerantriebe, deren Frequenznormal im Bereich der hörbaren Frequenzen arbeitet, nennt man tonfrequente elektronische Uhrenantriebe.

Sie zeichnen sich durch eine geringe Abhängigkeit der Frequenzstabilität von der Antriebsspannung, der Temperatur und der Lage aus.

Die Umwandlung der Schwingerbewegung in eine Drehbewegung wird durch mechanische Umformerelemente vorgenommen. Deshalb ist die höchste Nennfrequenz tonfrequenter Antriebe kleiner als 1000 Hz. Die Schwingeramplitude nimmt mit zunehmender Höhe der Frequenz ab. Ein günstiger Kompromiß zwischen Schwingeramplitude und Frequenzstabilität sind Schwinger mit einer Nennfrequenz zwischen 300 und 400 Hz. Ihre Amplitude hat bei einer Leistungsaufnahme von 12 μ W eine Größe von 0,05 mm und kann durch mechanische Bewegungsumformer in eine Drehbewegung umgeformt werden.

Die Schwinger tonfrequenter Antriebe arbeiten nur dann in einer energetisch günstigen Ausführung, wenn ihre Antriebsenergie nicht an ihrem Einspannpunkt zur Basismasse abfließen kann. Solche Eigenschaften haben nur Stimmgabelschwinger. Die Energiezufuhr zur Erzeugung der Schwingbewegung erfolgt durch einen Transistor-Schalter, der ähnlich wie beim Drehschwinger seine Steuerspannung durch die Bewegung des Arbeitsmagneten in der Steuerspule erhält. Steuerspule und Arbeitsspule sind übereinander gewickelt und erzeugen gemeinsam mit den Magneten an den Stimmgabelenden die Schwingbewegung. Die Umformung der Schwingbewegung in eine Drehbewegung wird durch Klinkenschaltgetriebe oder magnetische Fortschaltgetriebe vorgenommen. Das Übertragungsrad arbeitet auf ein herkömmliches Räderwerk, das die Drehbewegung zu einer Stunden-, Minuten- und Sekundenanzeige umformt. Bild 3.16 zeigt das Getriebeschema der Uhr.

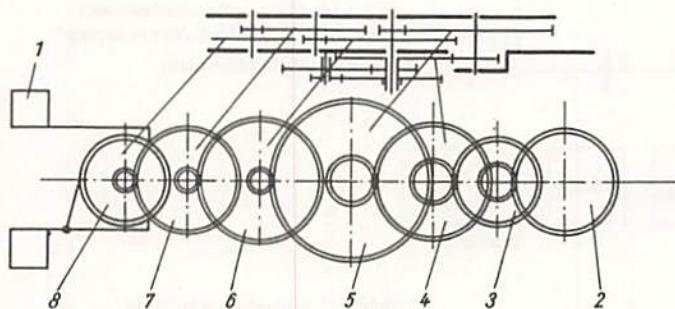


Bild 3.16. Getriebeschema einer elektronischen Stimmgabeluhr

1 Stimmgabel; 2 Stundenrad; 3 Wechselrad; 4 Minutenrad; 5 4. Rad; 6 Sekundenrad; 7 2. Rad; 8 Klinikenrad

Elektronische Uhren mit tonfrequentem Antrieb sind als Armband- und Wohnraumuhren hergestellt worden. Trotz der Spannungsabhängigkeit des Ganges erreichen sie hohe Gangleistungen. Armbanduhren mit tonfrequentem Zeitnormal erreichen mit einer Silberoxidzelle eine Gangleistung von 2 s/d.

Tonfrequente Stimmgabelschwinger lassen sich im Fertigungsprozeß nur schwer abgleichen. Allgemein beeinflußt man die Frequenz der Stimmgabel durch das Auf-

bringen zusätzlicher Massen oder durch Massenabtragung. Aus diesem Grund ist der Abgleichprozeß aufwendig. In Uhren wird der Feinabgleich der Schwingerfrequenz entweder durch Beeinflussung der Schwingeramplitude oder durch Änderung der Massenlage einer Stimmgabelzinke durchgeführt. Die Bilder 3.17 und 3.18 enthalten Ausführungsbeispiele solcher Uhren.

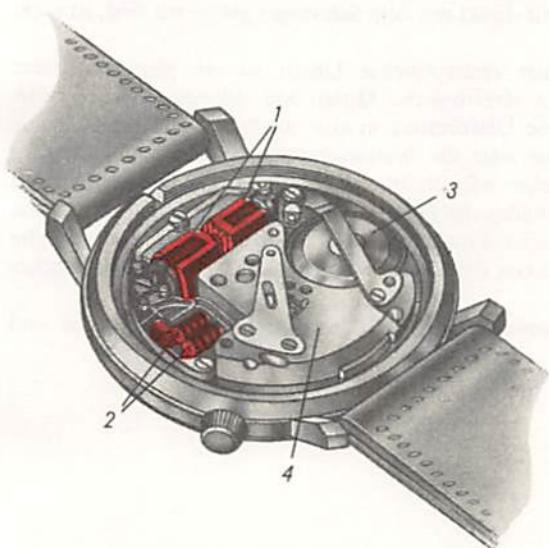


Bild 3.17. Elektronische Armbanduhr mit tonfrequentem Schwingen

1 Stimmgabel; 2 Elektronikblock; 3 Zelle; 4 Räderwerkbrücke

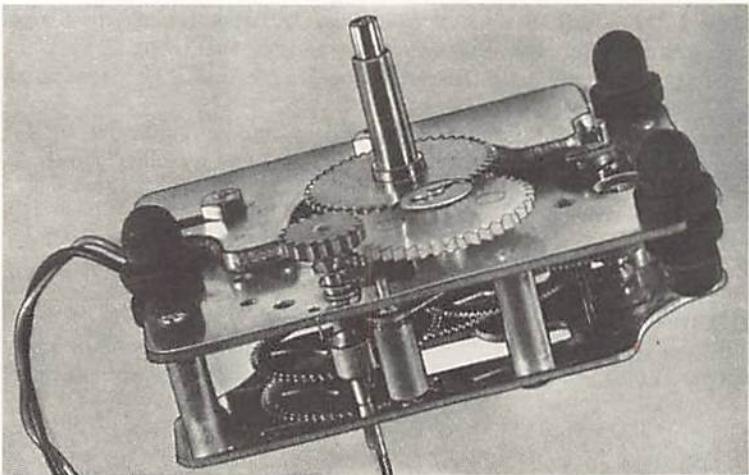


Bild 3.18. Werk einer elektronischen Wohnraumuhr mit tonfrequentem Schwingen

3.2.1.3. Hochfrequenter Antrieb

Schwingerantriebe, die in einem Frequenzbereich über 8 kHz arbeiten, werden als hochfrequente Uhrenantriebe bezeichnet.

Die Umwandlung ihrer Schwingbewegung in eine mechanische Drehbewegung durch mechanische Umformerelemente, die direkt mit dem Schwinger gekoppelt sind, ist nicht möglich.

Das Kennzeichen hochfrequenter elektronischer Uhren ist ein piezoelektrischer Schwinger, dessen Frequenz durch elektronische Mittel, wie elektronische Frequenzteiler, so weit geteilt wird, bis eine Umformung in eine mechanische Drehbewegung durch elektromechanische Wandler oder die Weiterverarbeitung durch elektronische Mittel zu einer digitalen Zeitanzeige möglich ist. Elektronische Frequenzteiler teilen aus diesem Grund in den meisten Fällen die Frequenz des piezoelektrischen Schwingers bis auf 1 Hz. Da eine elektronische Frequenzteilung zuverlässig nur durch binäre Frequenzteilung erfolgen kann, haben die Zeitnormale hochfrequenter elektronischer Uhren binäre Nennfrequenzen.

Für direkt angetriebene elektronische Uhren mit hochfrequentem Zeitnormal sind folgende Frequenzen üblich:

$$8192 \text{ Hz} = 2^{13} \text{ Hz}$$

$$16384 \text{ Hz} = 2^{14} \text{ Hz}$$

$$32768 \text{ Hz} = 2^{15} \text{ Hz}$$

$$2097152 \text{ Hz} = 2^{21} \text{ Hz}$$

$$4194304 \text{ Hz} = 2^{22} \text{ Hz}.$$

Die Frequenz 32768 Hz wird zur Hauptsache bei Armbanduhren, die Frequenz 4194304 Hz zur Hauptsache bei Wohnraumuhren und Weckern angewendet.

Elektronische Uhren mit hochfrequentem Zeitnormal sind in ihrem Gangverhalten völliglageunabhängig. Die Genauigkeit der Zeitanzeige ist nur vom Zeitnormal, dem Schwinger, abhängig. Die Schwingfrequenz wird von der Antriebsspannung, der Umgebungstemperatur und der Alterung des Schwingerwerkstoffes beeinflusst.

Ist der Schwinger einer hochfrequenten elektronischen Uhr ein Schwingquarz, so bezeichnet man sie als Quarzuhr.

Quarzuhren erreichen trotz der Spannungs-, Temperatur- und Alterungsabhängigkeit ihres Zeitnormals außerordentlich hohe Gangleistungen. Man gibt ihre Genauigkeit als Abweichungen vom Sollwert der Frequenz an:

$$\frac{\Delta f}{f} = n \cdot 30^{-6}$$

n ist eine Zahl im Bereich zwischen 1 und 9.

Quarzuhren für den allgemeinen Gebrauch erreichen Genauigkeiten zwischen 2 und $3 \cdot 10^{-6}$. Zur verständlichen Darstellung rechnet man die Genauigkeitsangaben nach der Beziehung

$$\frac{\Delta f}{f} \cdot 86400 \text{ s/d} = n$$

in die tägliche Abweichung um. Tafel 3.2 veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen Genauigkeit und Abweichungen in s/d.

Tafel 3.2. Zusammenhänge von Genauigkeit und Abweichungen

Genauigkeit	Abweichung s/d
$1 \cdot 10^{-1}$	8640
$1 \cdot 10^{-2}$	864
$1 \cdot 10^{-3}$	86,4
$1 \cdot 10^{-4}$	8,64
$1 \cdot 10^{-5}$	0,864
$1 \cdot 10^{-6}$	0,0864
$1 \cdot 10^{-7}$	0,00864

Elektronische Uhren mit Schwingquarzen werden als analoge und als digitale Uhren hergestellt.

Quarzuhren mit analoger Anzeige enthalten einen Frequenzteiler, dessen Ausgang mit einer speziellen Leistungsstufe ausgeführt ist, deren Aufgabe im Antrieb des elektromechanischen Energiewandlers besteht. Dieser Energiewandler kann je nach

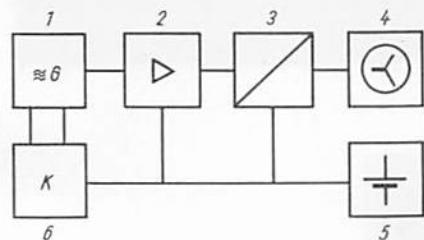


Bild 3.19. Übersichtsschaltplan einer Quarzuhr

1 Oszillator; 2 Verstärker; 3 Teiler; 4 Zeitanzeige mit vorgeschaltetem Wandler; 5 Stromversorgung; 6 Temperatur- und Spannungskompensation

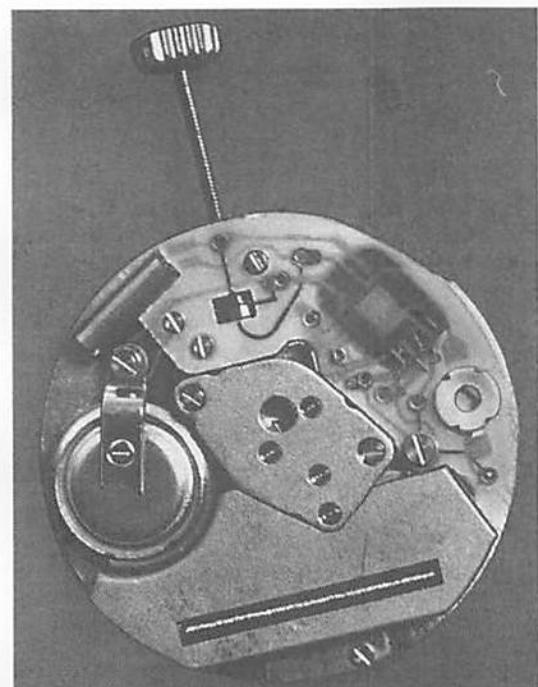


Bild 3.20. Quarzarmbanduhr mit analoger Anzeige

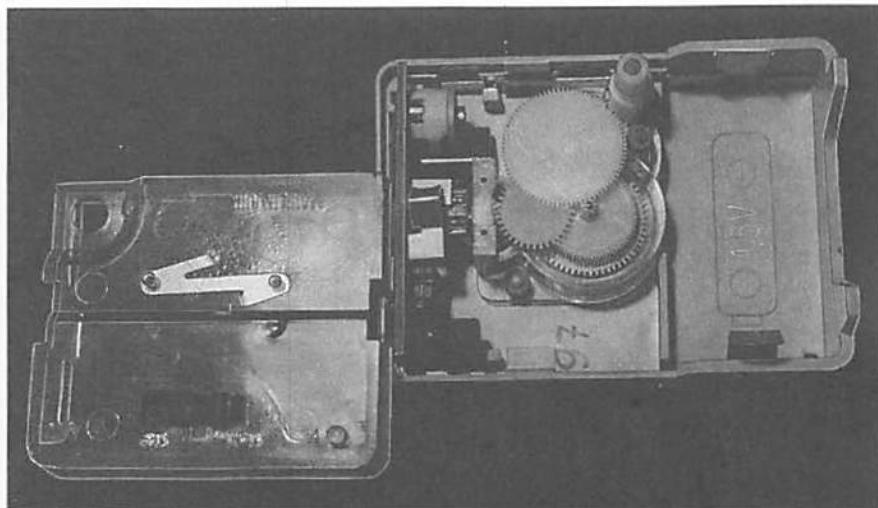


Bild 3.21. Quarzwohnraumuhr mit analoger Anzeige

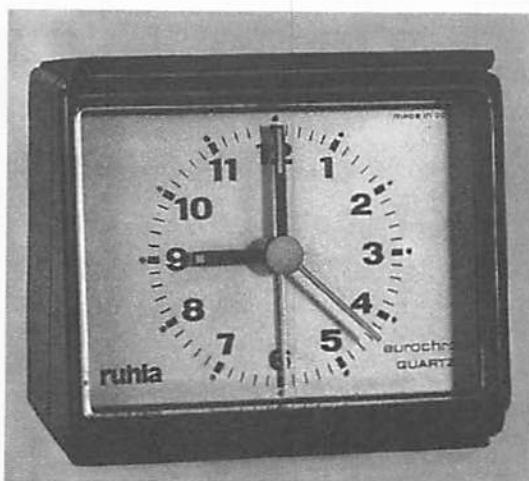


Bild 3.22. Quarzwecker mit analoger Anzeige

Ausführung des Schaltkreises in 2 s, 4 s, 6 s, 24 s oder 1 min eine Umdrehung machen. Er formt die Schwingfrequenz nach Unterersetzung durch den Teiler in eine Drehbewegung um und bringt sie in analoger Form, durch Zeiger, zur Anzeige. Bild 3.19 zeigt das Übersichtsschaltbild einer analogen Quarzuhr.

In bezug auf die Ausführungen des Räderwerks unterscheiden sich analoge Quarzuhren von üblichen elektrischen und elektronischen Uhren nicht. Bild 3.20 zeigt eine analoge Quarzarmbanduhr, Bild 3.21 eine analoge Quarzwohnraumuhr und Bild 3.22 einen analogen Quarzwecker.

Quarzuhren mit digitaler Anzeige enthalten einen Frequenzteiler, dessen Ausgang Sekundenimpulse liefert. Diese werden einem weiteren elektronischen Schaltkreis zugeführt, den Zähler für „Einersekunden“, „Zehnersekunden“, „Einerminuten“, „Zehner-

minuten“, „Einerstunden“ und zwei „Zehnerstunden“ enthält und diese Zählerinformationen in Zahlendarstellungen aus sieben Balken umformt. Man bezeichnet diesen Schaltkreis als Dekodierschaltkreis.

Die an den Ausgängen dieses Dekodierschaltkreises anliegenden Informationen werden einer Anzeige, einem sogenannten Display, zugeführt. Sie bilden eine Zifferngruppe, die die Zeit in digitaler Form darstellt.

Als Anzeigemittel verwendet man

- Leuchtdioden (LED = light emitting diode)
- Flüssigkristalle (LCD = liquid cristal display)
- Digitrons.

LED-Anzeigen hatten für Quarzarmbanduhren bei der Einführung der Quarzuhr große Bedeutung. Wegen ihres hohen Energiebedarfs mußten sie bei der Zeitabfrage eingeschaltet werden. Wecker und Wohnraumuhren mußten aus diesem Grund am Netz betrieben werden. Wegen dieses Nachteils haben LED-Anzeigen an Bedeutung verloren.

Digitrons können bei Armbanduhren nicht angewendet werden. Sie erfordern bei Weckern und Wohnraumuhren Netzbetrieb. Ihre Bedeutung nimmt wegen dieses Nachteils ab.

Moderne digitale Quarzuhren werden mit einem Schaltkreis ausgeführt, den man als LSI (large scale integrated circuit) bezeichnet. Diese Uhren verfügen über einen elektronischen oder mehrere elektronische Speicher, die Informationen über den Wochentag, das Datum und die Monatslänge enthalten. Diese Speicher werden durch die Zeitinformation angesteuert und zeigen das jeweils richtige Datum und den richtigen Tag an. Je nach Größe des Speichers ist es möglich, die Programmierung so vorzunehmen, daß die Kalenderanzeige für mehr als 4 Jahre richtig bleibt.

Durch die Möglichkeit, auch Zehntel- und Hundertstelsekunden durch einen speziellen Schaltkreisentwurf zu erzeugen, enthalten viele Uhren dieses Typs Stoppeinrichtungen, um einen echten Chronographen aufzubauen.

Durch die Anwendung spezieller Schaltkreisgestaltungen ist es möglich, Stoppuhren herzustellen, die nicht nur einfache Zeitnahmen im Start-Stop-Betrieb ermöglichen, sondern die auch die Addition, die unbeeinflußte Zwischenzeitnahme und die unterbrochene Zwischenzeitnahme zulassen.

Elektronische Uhren mit Schwingquarzen dürfen, um lange Gangzeiten mit nur einem Primärelement zu erreichen, nur eine geringe Leistungsaufnahme haben. Um dieser Forderung gerecht zu werden, haben Quarzarmbanduhren mit analoger Zeitanzeige eine Stromaufnahme von $1,2 \mu\text{A}$ bis $2,5 \mu\text{A}$, Quarzarmbanduhren mit digitaler Anzeige eine Stromaufnahme von 1 bis $3 \mu\text{A}$. Die theoretische Gangdauer mit einem Silberoxidelement beträgt etwa 1,5 bis 2 Jahre, wenn die Zellenkapazität 80 mAh beträgt. Quarzwohnraumuhren und Quarzwecker mit analoger Anzeige benötigen wegen der größeren Anzahl von Teilerstufen und des größeren Energiebedarfs des elektromagnetischen Wandlers eine größere Energie. Ihre Stromaufnahme liegt in der Größenordnung von $150 \mu\text{A}$ bis $300 \mu\text{A}$.

Quarzwohnraumuhren und Quarzwecker mit Flüssigkristallanzeige erreichen Stromaufnahmewerte kleiner als $2 \mu\text{A}$.

Digitale Quarzarmbanduhren mit LED-Anzeige benötigen bei eingeschalteter Anzeige Ströme von etwa 40 mA. Da in diesem Fall ein Armbanduhrprimärelement nach wenigstens zwei Stunden entladen wäre, fragt man die Zeit durch einen Abrufknopf ab und begrenzt die Abfragezeit durch elektronische Mittel auf etwa 2 s. Durch diese

Maßnahme erreichen Quarzarmbanduhren mit LED-Anzeige, wenn die Zeit nicht mehr als 20mal am Tage abgefragt wird, ebenfalls eine Gangdauer, die länger als ein Jahr ist. Da man zur Ermittlung der Zeit den Abfrageknopf betätigen muß, die Anzeige in der Dunkelheit überstrahlt und bei direkter Sonneneinstrahlung nicht ablesbar ist, haben diese Armbanduhren keine Bedeutung mehr.

Quarzwecker und Quarzwohnraumuhren mit LED-Anzeige gibt es nur mit dauernder Anzeige. Sie werden aus dem Lichtnetz gespeist. Aus diesem Grund spielt die Stromaufnahme für die Anzeige keine Rolle.

Da die gesamte Energieversorgung aus dem öffentlichen Netz erfolgt, geht im Fall eines Netzausfalls die Zeit verloren. Viele Typen schalten die Anzeige bei Netzstörung auf 0, um dem Benutzer zu zeigen, daß eine Zeitkorrektur wegen einer Netzstörung erforderlich ist. Bei Quarzweckern dieses Typs ertönt nach dem Wiedereinschalten des Netzes ein Warnsignal. Die Zeitanzeige steht ebenfalls auf Null. Analoge und digitale Quarzuhren unterscheiden sich in ihren konstruktiven Einzelheiten. Eine Darstellung dieser Unterschiede liefern die folgenden Beschreibungen.

Der konstruktive Aufbau der analogen Quarzuhr geht aus Tafel 3.3 hervor. Das Primärelement bildet zusammen mit seiner Halterung eine gesonderte Baugruppe, deren Aufgabe eine sichere Energieübertragung auf die elektrischen Verbraucher ist.

Tafel 3.3. Aufbau einer Quarzuhr mit analoger Anzeige

Baugruppe	Bauelemente
Leiterplatte	Schwingquarz Trimmer oder Abgleichkondensator Schaltkreis
Elektromechanischer Wandler	Schrittsteller oder Motor zur Umwandlung der Ausgangsimpulse des Schaltkreises in eine Drehbewegung
Räderwerk	Übertragungsrad Sekundenrad Kleinbodenrad Minutenrad
Zeigerwerk	Wechselrad Stundenrad
Stromversorgung	Primärelement Halterung der Primärelemente Mittel zur Energieübertragung auf die Stromverbraucher der Schaltung

Abweichend von der üblichen Bezeichnung bei mechanischen Uhrwerken werden Quarzuhrrohwerke auch Module genannt.

Quarzarmbanduhren mit Datumsanzeige oder mit Datum- und Tagesanzeige enthalten zusätzlich noch die Baugruppe „Kalendereinrichtung“; Quarzwecker mit analoger Anzeige zusätzlich die Baugruppe „Summer“ oder „Weckeinrichtung“. Die einzelnen Baugruppen sind im Bild 3.23a und b dargestellt. Der Aufbau des Räderwerks für analog anzeigende Quarzuhren wird durch den Uhrentyp und die dadurch erforderliche Zeitanzeige beeinflußt.

Damen-Quarzarmbanduhren können wegen der sehr begrenzten Raumverhältnisse nur mit sehr kleinen Primärelementen versehen werden. Die Nennkapazität dieser Primärelemente ist klein. Um eine Gangdauer von einem Jahr oder von zwei Jahren zu erreichen, bildet man den Schaltkreis so aus, daß nur alle 12 s oder alle Minuten ein Schaltschritt vom Schrittwandler ausgeführt wird. Durch diese Maßnahme verringert sich die Energieaufnahme auf $1/10$ bis $1/8$ der Energieaufnahme einer Uhr mit Sekunden-

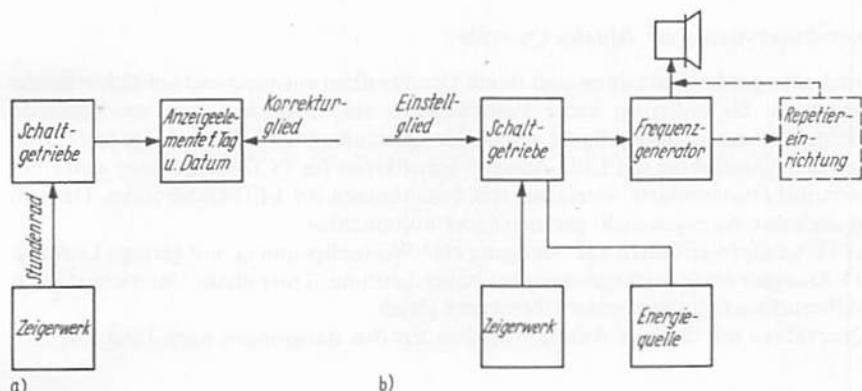
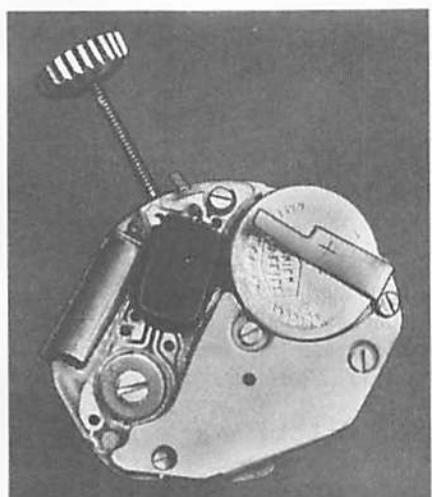
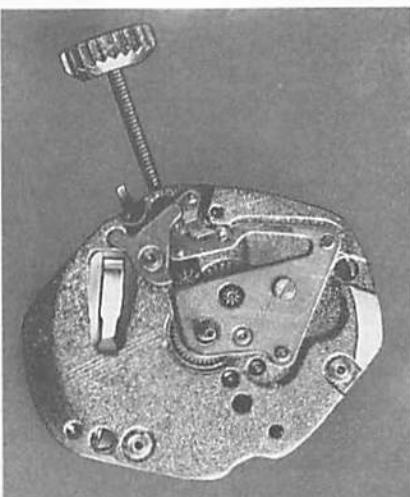


Bild 3.23. Überblicksschaltplan

- a) einer mechanischen Day-Date-Einrichtung für analoge Quarzarmbanduhren
 b) einer Weckeinrichtung zu einem Quarzwecker



a)



b)

Bild 3.24. Quarz-Damenarmbanduhr

- a) Werkseite; b) Zifferblattseite

schritt. Man verzichtet dabei auf die Ausführung mit Sekundenzeiger und startet die Uhr durch elektronische Mittel sekundengenau. In diesem Fall verringert sich die Anzahl der notwendigen Getriebestufen, und man treibt direkt vom Kleinbodenrad aus an. Bild 3.24 zeigt eine Damen-Quarzarmbanduhr und deren Räderwerk.

Da weder bei Wohnraumuhren noch bei Weckern die Sekundenanzeige eine technisch begründete Forderung ist, ergeben sich für diese Uhrentypen ähnliche Möglichkeiten zur Einsparung einer Getriebestufe.

Konstruktiver Aufbau der digitalen Quarzuhr

Digital anzeigende Quarzuhren sind ihrem Grundaufbau entsprechend vollelektronische Quarzuhren. Sie enthalten keine Einrichtungen zur Zeitanzeige mit mechanischen Mitteln. Man unterscheidet digital anzeigende Quarzuhren mit LCD-Anzeige und digital anzeigende Quarzuhren mit LED-Anzeige. Schaltkreise für LCD-Quarzuhren sind nicht kompatibel (austauschbar, vereinbar) mit Schaltkreisen für LED-Quarzuhren. Deshalb sind auch ihre Anzeigen nicht gegeneinander austauschbar.

LCD-Anzeigen erfordern zur Anregung eine Wechselspannung und geringe Leistung, LED-Anzeigen eine Gleichspannung bei hoher Leistung. Trotz dieser Unterschiede sind die Übersichtsschaltpläne beider Uhrentypen gleich.

Quarzuhren mit digitaler Anzeige bestehen aus den Baugruppen nach Tafel 3.4.

Tafel 3.4. Aufbau einer Quarzuhr mit digitaler Anzeige

Baugruppe	Bauelemente
Leiterplatte	Schwingquarz Trimmer oder Abgleichkondensator LSI-Schaltkreis
Anzeige	Anzeigefeld (Display) Kontaktmittel zur Verbindung von Anzeige und Leiterplatte
Stromversorgung	Primärelement Halterung der Primärelemente Mittel zur Energieübertragung auf die Stromverbraucher der Schaltung

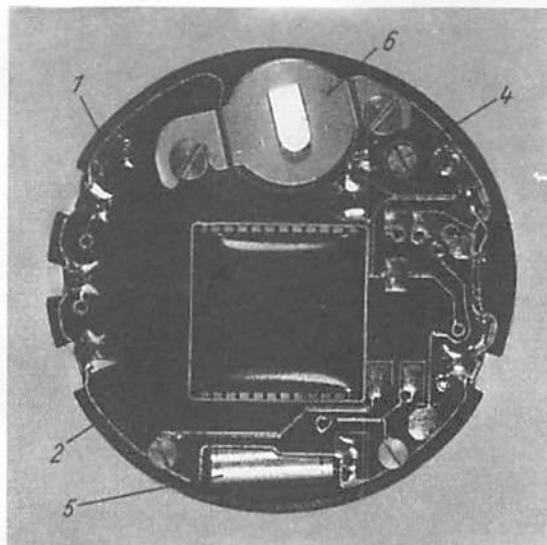
Abweichend von der analog anzeigenden Quarzuhr sind für die Spannungsversorgung der Anzeige digitaler Uhren entweder zwei Elemente erforderlich, oder es wird nur ein Primärelement benötigt. Uhren mit zwei Spannungsquellen ohne Beleuchtung der Anzeige erzeugen die Anzeigespannung für die LCD-Anzeige durch Addition der Zellenspannung der beiden Primärelemente.

Quarzuhren, die nur eine Spannungsquelle bei einer LCD-Anzeige haben, erzeugen die Antriebsspannung für die Anzeige durch eine Spannungsverdopplerschaltung im Schaltkreis. Armbanduhren mit LED-Anzeige erfordern aus physikalischen Gründen 3 V Arbeitsspannung für die Anzeige. Wegen des hohen Leistungsbedarfs der Anzeige ist nur die Speisung aus den Spannungsquellen selbst möglich. Die hohen Anzeigeströme machen spezielle Primärelemente erforderlich.

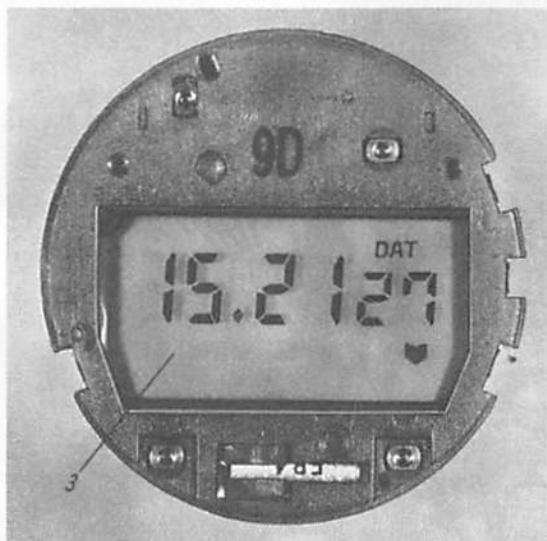
Bild 3.25 zeigt den Aufbau einer Quarzuhr mit LCD-Anzeige, die aus einer Span-

nungsquelle gespeist wird. Rohwerke vollelektronischer Uhren dieses Typs werden grundsätzlich als Modul bezeichnet.

Im Bild 3.26 ist der Aufbau einer Quarzuhr mit LED-Anzeige dargestellt. Ähnlich wie bei analog anzeigenenden Quarzuhrn können bei digitalanzeigenden Quarzuhrn zusätzliche Baugruppen die Uhr ergänzen. Solche Baugruppen können sein:



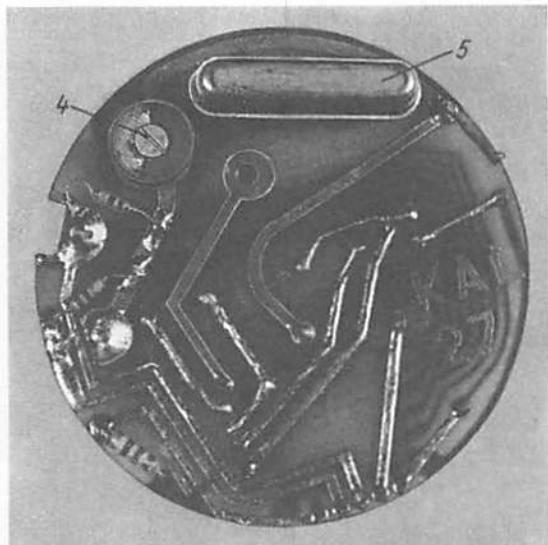
a)



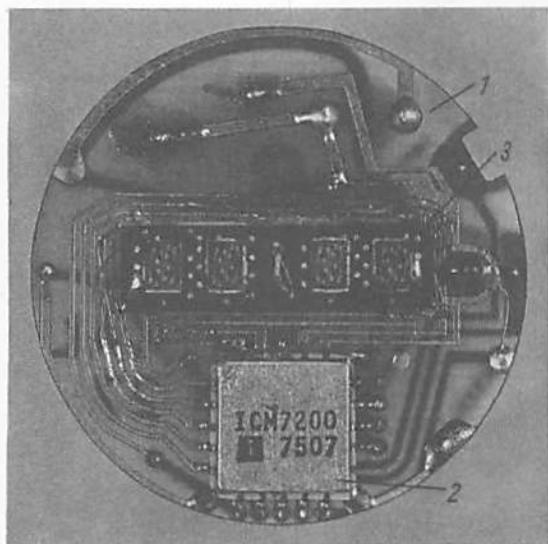
b)

*Bild 3.25.
Quarz-Herrenarmbanduhr
mit LCD-Anzeige*

a) Werkseite; b) Displayseite
1 Leiterplatte; 2 Schaltkreis;
3 Display; 4 Trimmer; 5 Quarz;
6 Zellenhalterung



a)



b)

- Weckerteil
- Rechner
- Programmspeicher.

Bild 3.27 zeigt einen digitalen Wecker, Bild 3.28 einen Taschenrechner mit Uhr, Wecker und Stoppuhr.

Elektronische Uhren mit Drehschwinger, tonfrequentem oder hochfrequentem Zeitnormal haben als gemeinsames Merkmal die elektronische Anregung ihres zeitgebenden

Bild 3.26.
Quarzarmbanduhr
mit LED-Anzeige

a) Werkseite; b) Displayseite
1 Leiterplatte; 2 Schaltkreis;
3 LED-Anzeige; 4 Trimmer;
5 Quarz



Bild 3.27. Quarzwecker mit digitaler Anzeige

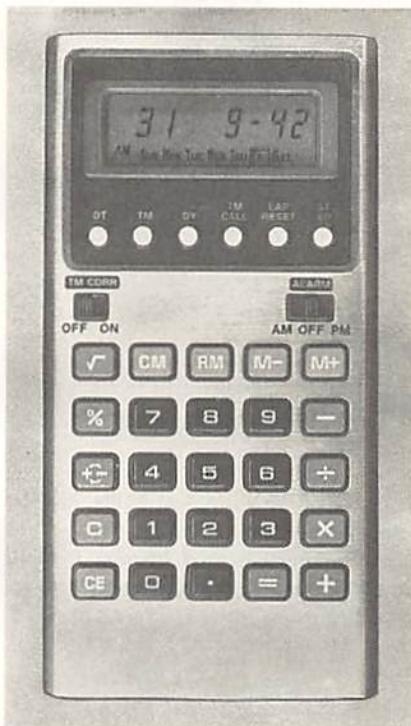


Bild 3.28. Quarzuhr mit digitaler Anzeige, Wecker, Stoppuhr und Rechner

Gliedes, des Zeitnormals. Die Gangdauer dieser Uhren hängt von der Leistungsaufnahme und dem Primärelement ab.

3.2.2. Synchronisierte elektronische Uhren

Elektronische Uhren, deren Zeitnormal und Schwingermotor durch ein zweites genaueres Zeitnormal gesteuert werden, bezeichnet man als synchronisierte elektronische Uhren.

Grundbedingung für die Synchronisierung dieser Uhren ist die um wenigstens 2 Zehnerpotenzen größere Ungenauigkeit des Schwingermotors gegenüber dem synchronisierenden Zeitnormal. Elektronische Uhren mit Drehschwingerantrieb können ihre theoretische Gangleistung wegen der Störung ihres Isochronismus durch die mechanische Belastung des Räderwerks nicht erreichen. Trennt man die Funktion von Zeitnormal und Motor, so erreicht eine Uhr, wenn man die Frequenz des elektronischen Schwingers auf elektrischem Wege einem Schwingermotor oder einem Synchronmotor zur Steuerung seiner Schwing- oder Drehbewegung zuleitet, höhere Ganggenauigkeiten als der direkt angetriebene Uhrentyp.

Voraussetzung zum Erreichen dieser hohen Ganggenauigkeit ist, daß der Schwingermotor oder Synchronmotor ohne die Steuerung durch die Synchronfrequenz selbständig läuft und das zugehörige Uhrwerk mit der ihm eigenen Genauigkeit antreibt. Das Übersichtsschaltbild für diesen Uhrentyp ist im Bild 3.29 dargestellt.

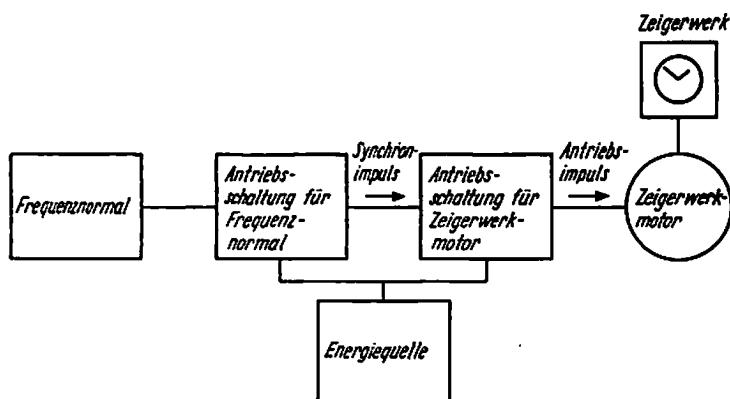


Bild 3.29. Übersichtsschaltplan einer elektronischen Uhr mit synchronisiertem Schwingmotor

Bild 3.30 zeigt die elektronische Schaltung eines Uhrwerks mit einem kollektorlosen Antriebsmotor und einem Drehschwinger als Zeitnormal.

Der Aufbau des Motors einschließlich der Übertragung seiner Drehbewegung geht aus Bild 3.31 hervor, der Drehschwinger und die zur Steuerung des Antriebsmotors erforderlichen Transistoren sind auf Bild 3.32 dargestellt.

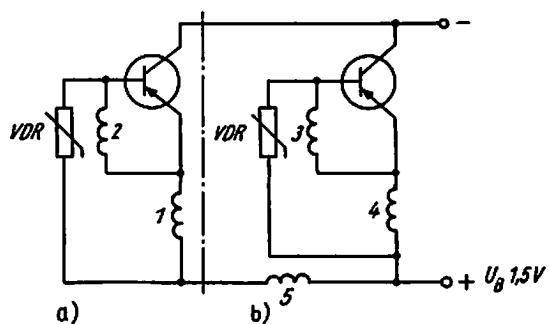


Bild 3.30. Schaltung einer synchronisierten elektronischen Uhr

- a) Schwingerelektronik
- 1 Arbeitsspule; 2 Steuerspule
- b) Motorelektronik
- 3 Steuerspule; 4, 5 zweiteilige Arbeitsspule

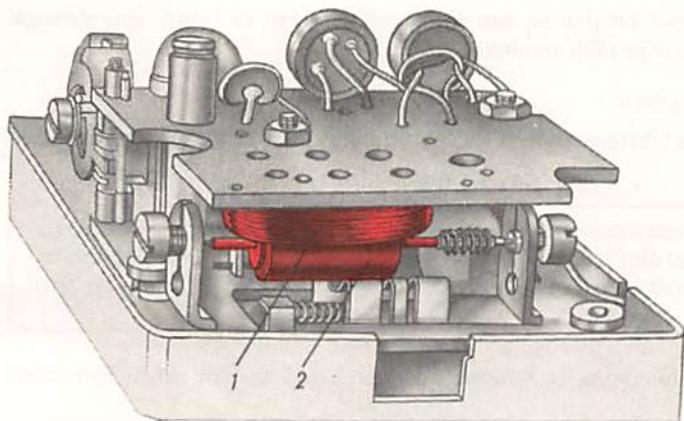


Bild 3.31. Motor zum Antrieb einer synchronisierten elektronischen Uhr
1 Spule; 2 Anker

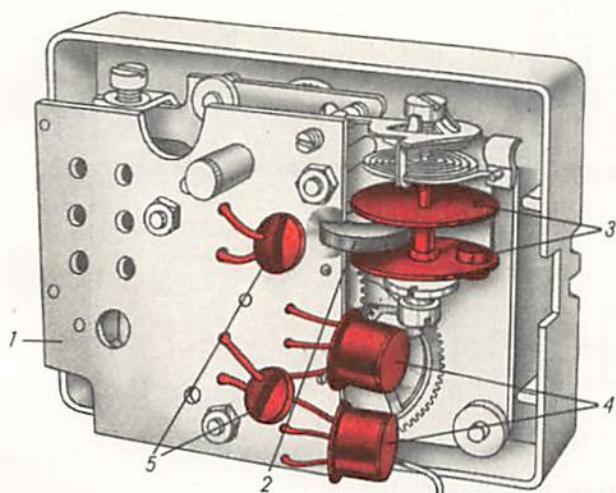


Bild 3.32. Ansicht eines Uhrwerks mit synchronisiertem Zeigermotor und Drehschwinger als Frequenzgeber
1 Leiterplatte und Oberplatte; 2 Antriebsspule und Steuerspule; 3 Unruh; 4 Transistoren; 5 VDR-Widerstände

Die Arbeitsweise der Uhr ist wie folgt:

In einem Spulensystem, das sich aus einer Steuer- und einer Antriebsspule zusammensetzt, dreht sich ein vierpoliger Rotor aus einem Dauermagnetwerkstoff. Durch Anwerfen des Rotors wird in der Steuerspule eine Spannung induziert, die zu einem Antriebsimpuls in der Antriebsspule führt. Dadurch entsteht ein Antriebsimpuls auf den Rotor und eine Drehbewegung, so daß durch fortwährende Induktion einer Steuerspannung die Drehbewegung aufrechterhalten wird. Zur Synchronisierung besteht die Antriebsspule aus zwei Teilspulen. Beide Teilspulen sind so geschaltet, daß nur dann eine Synchronisierung des Rotors erfolgt, wenn sich Synchronimpuls und Steuerimpuls des Motors decken.

Beim beschriebenen Uhrentyp ist, um die Lagefehler klein zu halten, eine stehende Lage für den Swinger gewählt worden.

Quarzsynchronisierte Uhren

Quarzsynchronisierte Uhren sind nach dem Prinzip der synchronisierten elektronischen Uhr aufgebaut.

Kennzeichen quarzsynchronisierter elektronischer Uhren ist ein Schwingquarz, dessen Frequenz auf die Frequenz eines Drehschwingers oder Unruhmotors heruntergeteilt wird und durch diese Steuerimpulse den selbständigen Drehschwinger synchronisiert.

Auch diese Uhren erfordern einen Swinger geringer Güte, um eine sichere Synchronisierung zu erreichen.

Als Nennfrequenz für diese Uhren wählt man binäre Vielfache der Grundfrequenz des zu synchronisierenden Schwingers.

Solche Frequenzen sind:

$$10240 \text{ Hz} = 2,5 \cdot 2^{12} \text{ Hz}$$

$$20480 \text{ Hz} = 2,5 \cdot 2^{13} \text{ Hz}$$

$$24576 \text{ Hz} = 1,5 \cdot 2^{14} \text{ Hz}$$

$$262114 \text{ Hz} = 1 \cdot 2^{18} \text{ Hz}$$

$$327680 \text{ Hz} = 2,5 \cdot 2^{17} \text{ Hz}$$

Den Übersichtsschaltplan einer quarzsynchronisierten Uhr zeigt Bild 3.33.

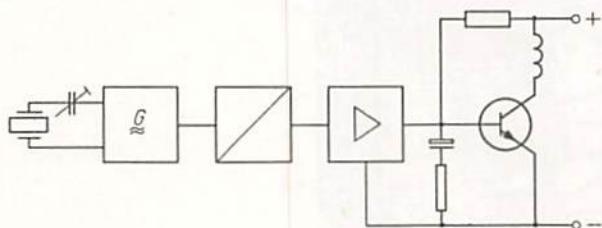


Bild 3.33. Übersichtsschaltplan einer quarzsynchronisierten Uhr

Addierend oder positiv synchronisierte Quarzuhren

Der Synchronisierungseffekt läßt sich entweder durch Addition des Synchronimpulses zum Antriebsimpuls oder durch Subtraktion eines Teils des Antriebsimpulses erreichen.

Addierend synchronisierte Quarzuhren beruhen auf dem Prinzip, daß der Steuerimpuls des Quarzes und der Antriebsimpuls des Schwingers einen solchen Energieinhalt haben, daß sie allein den zu synchronisierenden Swinger mit einer ausreichenden Schwingamplitude nicht betreiben können.

Treffen jedoch der Quarzimpuls und der Steuerimpuls genau zusammen, so wird eine synchronisierte Schwingung hergestellt. Dabei wird der zu synchronisierende Swinger auf seine Sollfrequenz gezogen und die Swingerfrequenz stabilisiert.

Da wegen der notwendigen Impulsaddition relativ energiereiche Impulse aus Synchroniserteil und Antriebsteil nötig sind, haben solche Uhren einen hohen Stromverbrauch und erreichen trotz Verwendung von Primäremementen mit großer Kapazität keine hohe Gangdauer.

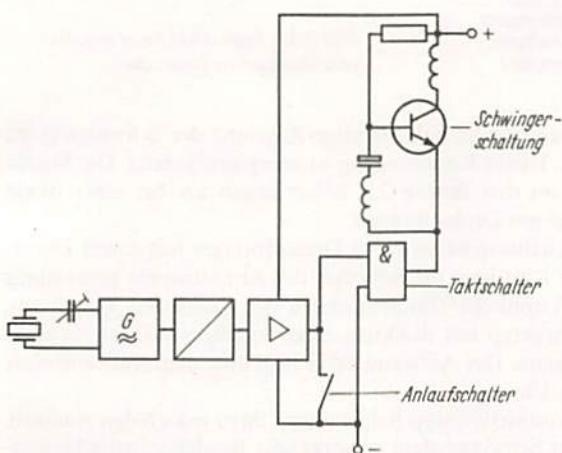


Bild 3.34. Übersichtsschaltplan einer positiv synchronisierten Quarzuhr

Verwendet man eine Schaltungsanordnung nach Bild 3.34, so läßt sich der Energiebedarf der Uhr um fast die Hälfte senken. Die Schaltung beruht auf der Zuschaltung der Antriebsenergie im Takt der Synchronisierfrequenz. Nach dem Anschwingen des Drehschwingers wird der vorhandene Anlaßschalter geöffnet, und die Energiezufuhr erfolgt nur noch im Takt der Synchronisierfrequenz. Die Stabilisierungswirkung dieser Schaltung ist hoch. Ihr Nachteil ist der notwendige Startschalter, der die Synchronisierfrequenz kurzschließt, und der damit verbundene Startvorgang.

Subtrahierend oder negativ synchronisierte Quarzuhren

Subtrahierend oder negativ synchronisierte Quarzuhren arbeiten nach dem Prinzip der Antriebsimpulsauslastung.

Die Antriebsimpulse des Schwingers werden dann ausgetastet, wenn sich die Antriebsimpulse des Schwingers nicht mit den Synchronisierimpulsen des Quarzes decken.

Bild 3.35 zeigt das Impulsbild für den Synchronisierungsvorgang. Schwingt der Dreh- schwinger schneller als die Synchronisierungsfrequenz, so wird ein großer Teil der Antriebs- impulse ausgetastet, und die Schwingung wird langsamer. Durch die langsamere Schwin- gung wird der Antriebsimpuls länger, und die Amplitude wird durch den höheren Energieinhalt des Impulses größer. Dabei steigt die Stromaufnahme der Schaltung.

Schwingt der Drehschwinger mit einer geringeren Frequenz als der Synchronisierfrequenz, so werden ebenfalls Teile der Antriebsimpulse ausgetastet, und die anfänglich verlangsame Schwingung wird durch den höheren Energieinhalt des Antriebsimpulses größer und schneller. Auch in diesem Fall steigt die Stromaufnahme der Schaltung.

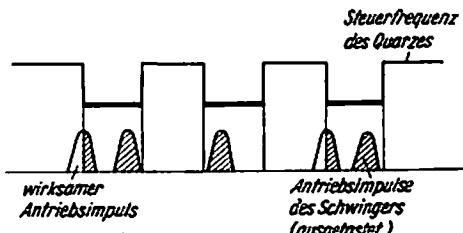


Bild 3.35. Impulsbild einer negativ synchronisierten Quarzuhr

Entsprechend der Funktionsweise findet eine ständige Regelung der Schwingung im Sinne der Synchronisierung statt. Dieser Regelsvorgang ist energieaufwendig. Die Stromaufnahme erreicht Werte, die um den Betrag 2,5 höher liegen als bei einer direkt angetriebenen elektronischen Uhr mit Drehschwinger.

Die Funktionsfähigkeit der Schaltung ist an einen Drehschwinger mit einem Dauermagnetsystem gebunden, dessen Kraftlinie die Schenkel der Antriebsspule gegensinnig durchsetzen. Synchronisierte elektronische Uhren zeichnen sich durch den Vorteil aus, daß ein bereits vorhandener Uhrentyp mit direktem elektronischem Antrieb zu einer Quarzuhr umgewandelt werden kann. Der Aufwand dafür liegt über dem Aufwand einer direkt gesteuerten elektronischen Uhr.

Je nach dem gewählten Synchronisierungstyp haben diese Uhren jedoch den Nachteil, daß in Fällen ungünstiger auf das Schwingssystem einwirkender Beschleunigungskomponenten der Drehschwinger außer Tritt gerät und die Uhr stehenbleibt. Deswegen überwiegen direkt angetriebene elektronische Uhren.

Tafel 3.5. Vor- und Nachteile synchronisierter elektrischer Uhren

Merkmale	Vorteile	Nachteile
Selbständiger Schwinger	unbelasteter Schwinger; keine Genauigkeitsverluste durch Fortschaltgetriebe	stark schwankende Schwingeramplitude; elektronische Impulsankopplung notwendig
Selbständiger Antrieb	Antriebsenergie vom Schwinger unabhängig; Steuerung des Antriebs durch unbeeinflußte hochgenaue Impulse	Aufwand an Bauelementen entspricht fast dem eines 2. Uhrwerks; sehr breitbandiges Antriebsglied als Schwingermotor erforderlich
Energiebedarf	—	Energie für zwei selbständige Baueinheiten erforderlich; hoher Energiebedarf
Gangdauer	von der Spannungsquelle abhängig, etwa 1 ... 2 Jahre	—
Ganggenauigkeit	hoch, etwa $2 \cdot 10^{-6}$	—

Die Vor- und Nachteile synchronisierter elektronischer Uhren sind in Tafel 3.5 zusammengestellt.

3.3. Frequenznormale elektronischer Uhren

Die Frequenznormale elektronischer Uhren haben ihren Ursprung in den Frequenznormalen der elektrischen Uhr. Durch die Halbleitertechnik ist es möglich geworden, Schwingen als Frequenznormale anzuwenden, deren Einsatz trägeheitslose Steuerungen erfordert.

Durch den Einsatz dieser im Bereich der Ton- oder Hochfrequenz arbeitenden Frequenznormale war es möglich, Gangleistungen zu erzielen, die von mechanischen Uhren nur mit großem Aufwand oder überhaupt nicht erreicht werden konnten.

3.3.1. Elektronisch gesteuerte Drehschwinger

Schwingermotoren, deren Schwingbewegung durch einen elektronischen Schalter gesteuert wird, bezeichnet man als elektronische Drehschwinger.

Als Schalter arbeitende Transistoren benötigen zur Ansteuerung der Basis-Emitter-Strecke eine Steuerspannung. Diese Steuerspannung muß vom Drehschwinger erzeugt werden, um den zum Antrieb notwendigen Antriebsimpuls zur Aufrechterhaltung der Schwingbewegung zu erhalten. Dazu dienen elektronische Schwingermotoren. Das sind Drehschwinger mit einem schwingenden Dauermagnetsystem, deren Magnetfeld beim Durchlaufen der Nullage des Schwingers in einer Spule, der Steuerspule, eine Spannung induziert. Diese Steuerspule ist fest im Uhrengehäuse angeordnet. Da im Augenblick der Induktion einer Steuerspannung der Transistor auf dem maximalen Kollektorstrom durchgeschaltet wird und ein Antriebsimpuls auf das Dauermagnetsystem einwirken muß, legt man die Antriebsspule an die gleiche Stelle wie die Steuerspule undwickelt beide Spulen übereinander. Häufig werden sie als doppelte oder bifilare Spulen ausgeführt. Die elektronische Schaltung einer Drehschwingersteuerung ist im Bild 3.36 dargestellt.

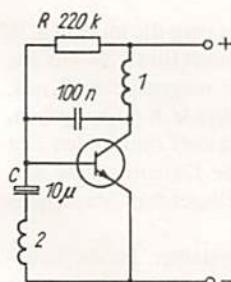


Bild 3.36. Schaltung einer Drehschwingersteuerung für Wohnraumuhrn

1 Arbeitsspule; 2 Steuerspule

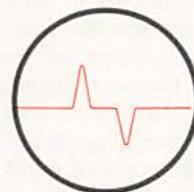


Bild 3.37. Steuerimpuls einer transistorgesteuerten Uhr

Beim Einschwingen in den Bereich des einen Schenkels der Steuerspule wird zunächst ein positiver Impuls erzeugt, der den entsprechend negativ vorgespannten Transistor öffnet und einen Kollektorstrom hervorruft. Beim Überschwingen des zweiten Spulen-schenkels wird wegen des anders zum Magnetsfeld liegenden Wicklungssinns ein negativer Impuls induziert, der den negativ vorgespannten Transistor noch stärker sperrt und den Kollektorstrom sicher unterdrückt (Bild 3.37).

Um den Steuerungsprozeß unabhängig von der Verstärkung des Transistors zu machen, wählt man die Windungszahl der Steuerspule so groß, daß die induzierte Steuerspannung den Transistor bis zu seiner Sättigung durchsteuert. Bei dieser elektrischen Auslegung der Steuerspannung erhält man auch für fallende Zellenspannungen hinreichend gleich große Antriebsimpulse. Dadurch ist die Abhängigkeit der Schwingbewegung vom Energiezustand der Energiequelle kleiner als bei kontaktgesteuerten Drehschwingerantrieben.

Weil die übereinander gewickelten Spulen sich gegenseitig durch Induktionserscheinungen beeinflussen, kann sich eine Schwingung aufbauen, die nach dem Rückkopplungseffekt aufrechterhalten wird. Sie ist in den meisten Fällen unerwünscht. Zu ihrer Unterdrückung ist ein Kondensator vom Kollektor zur Basis geschaltet, der der Schwingneigung durch Gegenkopplung entgegenwirkt.

Einfache elektronische Schaltungen zur Steuerung von Drehschwingern schwingen nicht von selbst an. Um einen Selbstanlauf zu erzeugen, muß dafür gesorgt werden, daß beim Anlegen einer Spannung der Transistor durch schaltungstechnische Mittel geöffnet wird. Solche schaltungstechnischen Mittel enthält die Steuerschaltung nach Bild 3.36.

Legt man an die Schaltung eine Spannung, so lädt sich der $10\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensator über den Widerstand $220\text{ k}\Omega$ auf. Dieser Aufladevorgang dauert so lange, bis die Öffnungsspannung des Transistors erreicht ist und die Kondensatorladung als Basisstrom abfließt. Durch den nun fließenden Kollektorstrom entsteht ein Antriebsimpuls auf den Schwinger, der eine kleine Drehbewegung hervorruft. Die dabei entstehende Steuerspannung ist noch nicht ausreichend, um ein Aufschaukeln der Schwingung anzuregen. So wird nach dem Abfließen der Kondensatorladung der Transistor nochmals gesperrt, und der Kondensator lädt sich erneut auf. Erst nach mehrmaligem Anstoßen des Schwingers ist die entstehende Steuerspannung groß genug, die Schwingbewegung aufrechtzuerhalten.

Selbstanlaufende Drehschwinger haben darum in den meisten Fällen einen Anlaufkondensator. Die aus dem Elektrolytkondensator C und dem Widerstand R folgende Zeitkonstante $\tau = RC$ der Schaltung bestimmt den Rhythmus der Anlaufschwingung.

Zur Umgehung des relativ teuren Anlaufkondensators verwendet man die im Bild 3.38 dargestellte Steuerschaltung. Sie arbeitet mit einem Magnetsystem nach Bild 3.39, das aus vier Dauermagneten (Ferritmagneten) besteht. Diese bilden einen magnetischen Kreis, dessen Feldlinien durch die Schenkel von Steuer- und Antriebsspule hindurchgehen. Die beiden Unruhscheiben bestehen aus ferromagnetischem Werkstoff und bilden den magnetischen Rückschluß für das Dauermagnetsfeld. Die durch die Dauermagnete hervorgerufene Unsymmetrie der Massen wird durch die gegenüberliegenden Ausgleichsmassen auf den Unruhscheiben ausgeglichen.

Der Polarisationskondensator wird durch den Widerstand aufgeladen. Ist die Ladespannung bis auf den Wert der Öffnungsspannung für den Transistor angestiegen, so fließt bis zum Abfließen der Ladung ein Kollektorstrom. Nach dem Abfließen der Ladung ist die Schaltung gesperrt, bis der Kondensator erneut aufgeladen ist.

Da die Zeitkonstante von Widerstand und Kondensator kleiner ist als bei der Schaltung nach Bild 3.38, entsteht eine hochfrequente Schwingung, die schneller als die Aufschaukelschwingung des Schwingers ist. Sie wirkt derart auf den Schwinger ein, daß

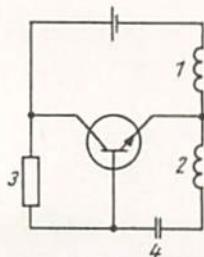


Bild 3.38. Selbstlaufende Transistorschaltung mit 4-Magnet-System

1 Arbeitsspule; 2 Steuerspule; 3 Vorwiderstand; 4 Polarisationskondensator

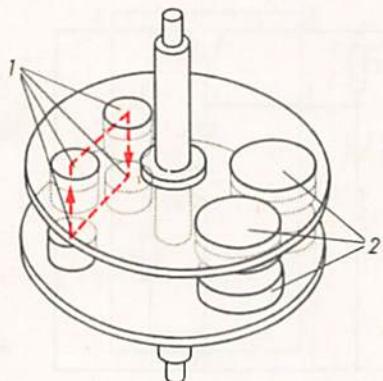


Bild 3.39. Drehschwinger mit 4-Magnet-System

1 Magneten; 2 Ausgleichsgewichte

Teilschwingungen zu einem raschen Aufschaukeln der Unruh wirksam werden und diese schnell ihre Sollfrequenz erreicht. Ist die Sollfrequenz erreicht, so geht die Schaltung in den Schalterbetrieb über und arbeitet nach dem Prinzip der Schaltung nach Bild 3.36. Die Unruh erhält jedoch je Schwingung zwei Antriebsimpulse.

Schaltungen, die zur Steuerung der Schwingbewegung eine Steuer- und eine Antriebs- spule benötigen, bezeichnet man als Zweispulenanztriebsschaltungen.

Zweispulenanztriebsschaltungen arbeiten in Abhängigkeit von der Größe der Speise- spannung der Energiequelle der Uhr. Diese Spannung ist wegen der ständigen Energie- entnahme und der Selbstentladung der Energiequelle fallend. Das führt zu einer dauern- den Gangänderung der Uhr. Diese kann nur dann klein gehalten werden, wenn man eine Energiequelle mit geradlinig verlaufender Entladekennlinie verwendet. Solche Primärelemente stehen für Wohnraumuhren nicht zur Verfügung.

Eine konstante Antriebsspannung kann durch Stabilisierungsschaltungen erzeugt werden. Diese halten die Antriebsspannung auf einen Wert, der um 0,3 bis 0,4 V unter der Nennspannung der Batterie liegt.

Sie halten die Antriebsspannung auf einem gleichbleibenden Wert. Der Spannungswert liegt immer unter dem Nennwert der Antriebsspannung, weil sich eine Regelung nur durch die Entnahme von Energie aus dem Gesamtsystem Antrieb durchführen lässt. Bild 3.40 zeigt die Schaltung eines integrierten Schaltkreises zur Spannungsstabilisierung.

Der Transistor $V1$ erfüllt die Aufgabe des Schalttransistors für den Antrieb. Die Steuerspannung wird von der Steuerspule $L1$ über den Anschluß 1 eingespeist. Der Anschluß 2 ist mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden; zwischen dem Minuspol der Spannungsquelle und dem Anschluß 3 liegt die Antriebsspule $L2$. Der Anschluß 4 liegt direkt an Minus. Der Regeltransistor $V2$ erhält seine Basisvorspannung über den

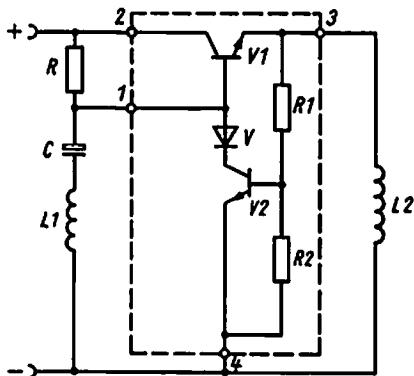


Bild 3.40. Spannungsstabilisierungsschaltung

V_1 Schalttransistor; V_2 Regeltransistor; V Sperrdiode; L_1 Steuerspule; L_2 Antriebsspule; C Anlaufkondensator; R Anlaufwiderstand

Spannungsteiler $R1/R2$. Die Diode V verhindert das Auftreten anderer in Sperrichtung auftretender Ströme und Spannungen. Die Antriebsspannung liegt zwischen den Anschlüssen 2 und 4. Wird der Transistor V_1 von der Steuerspannung geöffnet, so ist der Widerstand seiner Kollektor-Emitter-Strecke sehr klein, und die Antriebsspannung liegt voll zwischen den Anschlüssen 3 und 4. Dabei fällt über den Spannungsteiler $R1/R2$ eine Spannung ab, die die Basis des Transistors V_2 öffnet, wenn ihr Wert größer als 1,1 V ist. Durch den geöffneten Regeltransistor fließt ein Strom I_4 , der sich aus dem Kollektorstrom I_{C2} und dem Basistrom I_{B2} zusammensetzt. Dabei liegen die Widerstände $R2$ und der Widerstand der Basis-Emitter-Strecke parallel. Über $R2$ fällt die Basis-Emitter-Spannung U_{BE2} ab. Die Werte für den Spannungsteiler sind so eingestellt, daß der Transistorstrom des Regeltransistors immer eine solche Größe erreicht, die einer Spannung zwischen den Punkten 3 und 4 von 1,1 V entspricht. Sie ist dabei völlig von der Speisespannung der Zelle unabhängig. Unterhalb der Speisespannung von 1,2 V setzt die Regelung aus, und die Antriebsspannung entspricht dem Wert der Speisespannung.

Durch die Einregelung der Antriebsspannung auf 1,1 V läßt sich eine gleichbleibende Schwingeramplitude einstellen. Sie ist Ursache einer hohen Gangleistung, die nur noch von den Amplitudenschwankungen abhängt, die aus den unterschiedlichen Belastungen des Schwingermotors beim Antrieb des Räderwerks folgen.

Schwingermotoren mit Steuer- und Antriebsspule als Zweispulenantriebe sind in ihrer Herstellung aufwendig. Um die empfindliche Anordnung der beiden Spulen zu vereinfachen, hat man nach mechanisch weniger aufwendigen und unempfindlichen Schaltungsmöglichkeiten gesucht. Eine dieser einfachen Möglichkeiten ist der Einspulenantrieb. Dieser Antrieb nutzt die Tatsache, daß beim Rückschwingen in der stromlosen Antriebsspule eine Spannung mit dem Charakter einer Steuerspannung induziert wird. Dieser Spannungsimpuls wird zur Ansteuerung einer Transistorschaltung genutzt, die aus Funktionsgründen im einfachsten Fall aus zwei Transistoren bestehen muß. Den Aufbau der Schaltung zeigt Bild 3.41.

Die Wirkungsweise der Schaltung beruht darauf, daß immer einer der beiden Transistoren gesperrt ist. Welcher von beiden gesperrt ist, wird durch den aus der Antriebsspule eingespeisten Impuls bestimmt. Im Bild 3.41 sind die gesperrten Transistoren durch rote Bereiche gekennzeichnet.

Der Antrieb arbeitet mit schwingendem Magnetsystem und feststehender Spule. Die Spule L liegt im Luftspalt des schwingenden Magnetsystems. Beim Anlegen der Spannung lädt sich der Kondensator C_1 über den Widerstand R_1 auf. Damit liegt an der Basis von V_1 negatives Potential, und der Transistor ist leitend. Im leitenden Zustand ist der

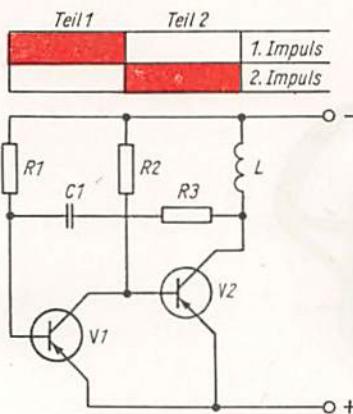


Bild 3.41. Einspulenschaltung

Widerstand seiner Kollektor-Emitter-Strecke sehr klein. Es gelangt positives Potential an die Basis von $V2$ und sperrt diesen. Im Kollektorkreis von $V2$ fließt kein Strom, und der Unruh wird keine Antriebsenergie zugeführt. Die beim Rückschwingen der Unruh induzierte Steuerspannung lädt den Kondensator $C1$ über den Widerstand $R3$ auf und erzeugt an der Basis von $V1$ eine positive Spannung, die den Transistor $V1$ sperrt. Wegen der Sperrung von $V1$ gelangt über $R2$ negatives Potential an die Basis von $V2$ und öffnet diesen. Dadurch entsteht in L ein Stromstoß, der der Unruh einen Antriebsimpuls erteilt. Gleichzeitig gelangt durch den geöffneten Transistor $V2$ über dessen Kollektoranschluß positives Potential über $R3$ auf den Kondensator $C1$, der damit umgeladen wird. Damit liegt wieder negatives Potential an der Basis von $V1$, dieser wird leitend und schließt $V2$. Kennzeichen dieser Schaltung ist die Umladung von $C1$, die Ursache dafür ist, daß die Schaltung von einem leitenden Zustand in den anderen „kippt“.

Ein Nachteil der Schaltung ist der hohe Stromverbrauch, weil immer einer der beiden Transistoren leitend ist und der Spannungsquelle damit Energie entzogen wird, auch wenn kein Antriebsimpuls zur Erzeugung einer mechanischen Leistung entnommen wird.

Die Beschreibung macht deutlich, daß während jeder Halbschwingung ein Antriebsimpuls erzeugt wird. Bild 3.42 zeigt die praktische Ausführung der Schaltung.

Einspulenantriebe lassen sich wirtschaftlicher durch den Einsatz einfacher integrierter Schaltungen verwirklichen (Bild 3.43). Die Schaltung enthält drei integrierte Transistoren. Sie unterscheidet sich von der Schaltung nach Bild 3.42 dadurch, daß sie einen gesperrten und einen leitenden Zustand verwirklicht und während der Sperrphase keine Leistung aufnimmt.

Die Schaltung besteht aus dem Arbeitstransistor $V1$ und dem Phasenumkehrtransistor $V2$; $V3$ ist ein Hilfs- und Regeltransistor, der die Spannungsabhängigkeit der Schwingeramplitude kompensiert.

In Reihe mit der Antriebsspule liegt der Widerstand $R1$, der zum Abgriff eines Teils der induzierten Steuerspannung dient, um die Schaltung sicher in den gesperrten Zustand zu steuern. Kennzeichen der Schaltung ist das komplementäre Transistorpaar $V1$ und $V2$. Durch den Spannungsteiler $R2/R3$ ist das Basispotential von $V2$ so eingestellt, daß der Transistor sicher sperrt. Die Basis des Arbeitstransistors $V1$ liegt auf Kollektorpotential von $V2$; damit ist $V1$ ebenfalls gesperrt.

Wird durch einen Steuerimpuls der Potentialwert an der Basis von $V2$ so verändert, daß $V2$ öffnet, so fließt für die Zeit des Steuerimpulses ein Strom über den Transistor

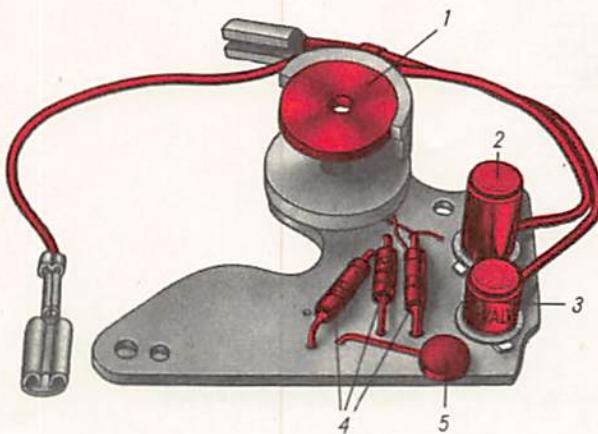


Bild 3.42. Elektronikblock einer Uhr mit Einspulenschaltung

1 Spule; 2 Transistor $V1$; 3 Transistor $V2$; 4 Widerstände $R1, R2, R3$; 5 Kondensator $C1$

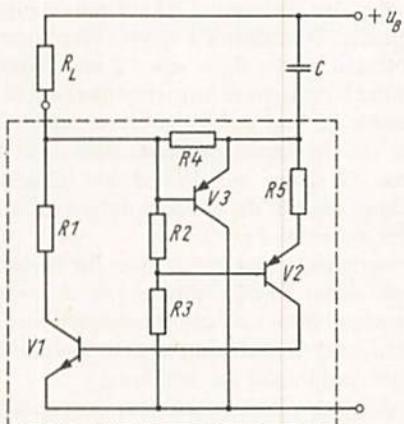


Bild 3.43. Integrierte Stabilisierungsschaltung

$V2$, und der Transistor $V1$ wird geöffnet. Er wird bis in das Gebiet seines Sättigungsstromes durchgesteuert. Dabei fällt über den Widerstand $R1$ eine hohe Spannung ab, die Ursache dafür ist, daß der Punkt 3 der Schaltung wieder auf das Potential der Steuerspannung zurückfällt und der Transistor $V2$ in den gesperrten Zustand zurückkippt. Dadurch wird auch $V1$ gesperrt.

Während der Sperrphase entlädt sich der Kondensator C , der während der Öffnung von $V2$ aufgeladen worden ist, über den Widerstand $R4$. Durch diesen Vorgang wird die Einschaltschwelle der Schaltung erniedrigt und der Öffnungsvorgang für den folgenden Steuerimpuls erleichtert. Der Kondensator $C1$ verhindert eine Selbsterregung der Schaltung.

Durch den Transistor $V3$, den Hilfstransistor, erfolgt eine Amplitudenstabilisierung, indem die Größe der induzierten Steuerspannung ausgewertet wird. Dabei verändert dieser Transistor die Einschaltschwelle der Schaltung so, daß bei kleiner Steuerspannung

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 selbstständig 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.

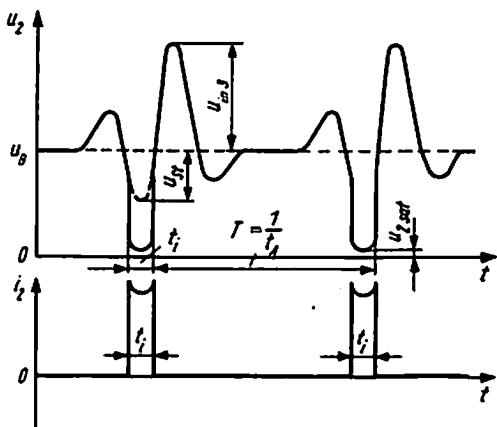


Bild 3.44. Impulsbild einer Stabilisierungsschaltung

U_s Steuerspannung; V_{1n3} induzierte Spannung durch Magneten; U_{2sat} Sättigungsspannung; t_1 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.

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 Stimmgabelwerkstoffes |
| ρ | Dichte des Stimmgabelwerkstoffes. |

Alle tonfrequenten Swingeranordnungen sind zweiteilige Swinger. Jede Swingerhälfte stellt einen selbständigen Swinger dar.

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

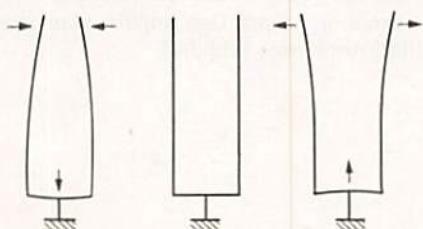


Bild 3.45. Schwingungsphasen eines Stimmgabelschwingers

Durch diese Eigenschaft der Swinger 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 Swinger muß den Stimmgabelenden mechanische Energie zugeführt werden. Diese Energiezufuhr erfolgt durch Dauermagnete an den Stimmgabelenden.

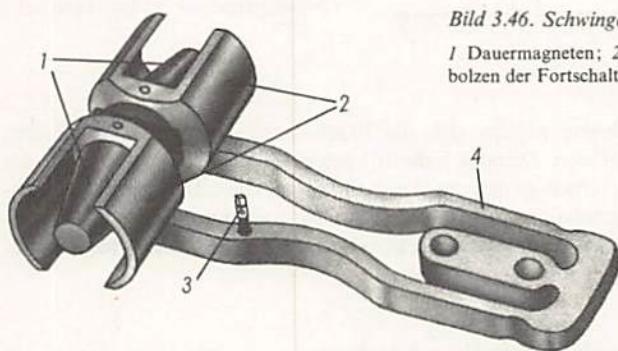


Bild 3.46. Swinger einer Stimmgabeluhr

1. Dauermagnete; 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 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 Zweispuleantriebsschaltung. Die Antriebsspulen sind in zwei Teilsysteme aufgegliedert. Die Gesamtfunktion der Schaltung ändert sich dadurch nicht. Im Gegensatz zu den einfachen Transistororschaltungen 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

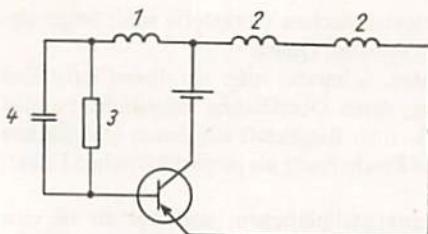


Bild 3.47. Schaltung einer Armbanduhr mit tonfrequentem Zeitnormal

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.

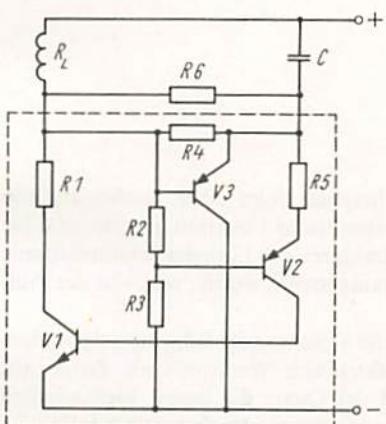


Bild 3.48. Integrierte Schaltung einer elektronischen Armbanduhr mit tonfrequentem Schwinger

Eine Schaltung zum Antrieb einer Stimmabeluhr in integrierter Ausführung zeigt Bild 3.48. Der Widerstand R_6 hat die Aufgabe, die Impulsdauer an die Schwingbedingungen der Stimmabel 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 Schwingen.

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

elektrischem Werkstoff hergestellt. Solche piezoelektrischen Werkstoffe sind: Seignettesalz, Bleizirkonat, Bleititanat, 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 entgegenseetzt, 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 Gütwerte aller bekannten piezoelektrischen Werkstoffe.

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.

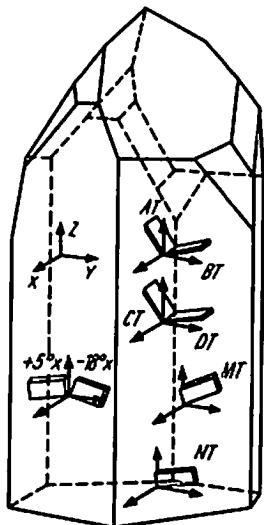


Bild 3.49. Quarzkristall

Tafel 3.6. Quarzschnitte, Schwingungsarten und Frequenzbereiche

Quarzschnitt	Schwingungsart	Frequenzbereich bis
X, NT	Biegungsschwinger	100 kHz
X, MT	Längsschwinger	200 kHz
DT	Flächenscherungsschwinger	250 kHz
CT	Flächenscherungsschwinger	600 kHz
AT	Dickenscherungsschwinger	150 MHz
BT	Dickenscherungsschwinger	30 MHz

Für Quarzuhrnen sind zwei Quarzschnitte besonders geeignet:

- X_{+5°}-Schnitt
- AT-Schnitt.

Für Armbanduhren verwendet man den X_{+5°}-Schnitt, um Biegeschwinger mit einer Nennfrequenz von 32 768 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 32 768 Hz und 4,19 MHz unbedeutend. Bild 3.50 zeigt die Schwingungsart eines Quarzbiegeschwingers und eines Dickenscherungsschwingers für Quarzuhrnen. Im Bild 3.51 wird die Temperaturunabhängigkeit eines Biegeschwingers und eines Dickenscherungsschwingers gezeigt.

Längs-Biegung ($X^{+0.5}$)



AT-Schnitt

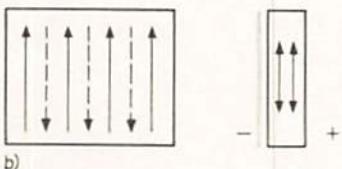


Bild 3.50. Schwingungsrichtungen

a) eines Biegeschwingers und b) eines Dickenscherungsschwingers

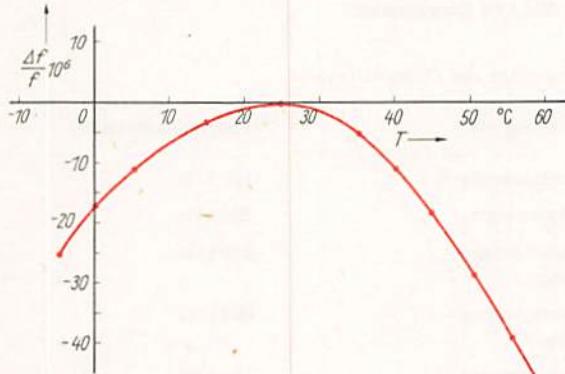


Bild 3.51. Temperaturkurve eines Biegeschwingers

Kenndaten eines Schwingquarzes

Schwingquarze werden nach ihren elektrischen und mechanischen Eigenschaften durch ihre Kenndaten beschrieben. Das sind im einzelnen:

- Auslieferungstoleranz der Nennfrequenz des Quarzes
- Lastkapazität
- Resonanzwiderstand
- Güte
- Temperaturumkehrpunkt
- Temperaturkoeffizient
- Alterung des Quarzes
- Stoßempfindlichkeit.

Die *Auslieferungstoleranz* des Quarzes beschreibt die Abweichung von der Nennfrequenz. Sie wird in $\%$ oder ‰ angegeben. Je enger die Auslieferungstoleranz gewählt wird, um so geringer ist der Abgleichaufwand zum Erreichen der Nennfrequenz.

Die *Lastkapazität* C_L ist die Kapazität, die dem Quarz parallel (Parallelresonanz) oder mit ihm in Reihe (Serienresonanz) geschaltet wird, damit er auf der Resonanzfrequenz schwingt. Sie wird in pF gemessen und bei der Bestellung des Quarzes angegeben. Der Wert der Lastkapazität wird von der Leiterplatte und deren Schaltkapazität bestimmt.

Der *Resonanzwiderstand* R_S des Quarzes ist der Widerstand im Bereich der Resonanzfrequenz. Er wird in Kiloohm angegeben. Der Resonanzwiderstand beeinflusst die zur

Aufrechterhaltung der Quarzschwingung notwendige Energiemenge und das Anschwingverhalten einer Oszillatorschaltung. Je geringer der Resonanzwiderstand ist, um so leichter schwingt der Quarz und um so geringer ist die Energiemenge, um seine Schwingung aufrechtzuerhalten.

Bei großem Resonanzwiderstand schwingt der Quarz schlecht an und benötigt zum Schwingen auch mehr Energie. Er ist durch äußere Einflüsse leichter in seinem Schwingverhalten zu beeinflussen. Gute Quarze haben einen Resonanzwiderstand kleiner als $20\text{ k}\Omega$.

Wird ein Quarz in einer Serienresonanzschaltung betrieben, so bezeichnet man den Resonanzwiderstand als Serienresonanzwiderstand. Äquivalent zu dieser Schaltungsart kennt man auch einen Parallelresonanzwiderstand für die Parallelresonanzschaltung. Der Resonanzwiderstand wird in Oszillatorschaltungen von den Abgleichkapazitäten beeinflusst.

Der *Gütefaktor Q* des Quarzes ist ein Maß für die während der Schwingung im Resonanzbereich auftretenden Energieverluste. Er ist das Verhältnis von induktivem Widerstand zum Resonanzwiderstand und wird als Wert in Zehnerpotenzen angegeben. Schwingquarze erreichen Gütwerte von 10^5 bis 10^6 .

Der *Temperaturumkehrpunkt T₀* ist der Scheitelpunkt der Parabelkurve $\Delta f/f = f(T)$ für den Biegeschwinger im X_{+,5}-Schnitt (s. Bild 3.51). In diesem Punkt treten bei Temperaturveränderungen die geringsten Abweichungen von der Sollfrequenz auf. Der Temperaturumkehrpunkt hat eine fertigungsbedingte Toleranz von $\pm 7\text{ K}$ und wird allgemein auf $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ als Nennwert festgelegt. Wohnraumuhrrquarze mit einer Nennfrequenz von $4,19\text{ MHz}$ haben einen Verlauf der Kurve $\Delta f/f = f(T)$, der einer Parabel 3. Grades entspricht. Dieser Kurvenverlauf gilt für den AT-Schnitt. Bei ihm liegt der Temperaturumkehrpunkt im Wendepunkt der Kurve, der vom Hersteller auf $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ festgelegt wird.

Der *Temperaturkoeffizient K* beschreibt den Verlauf der Kurve $\Delta f/f = f$ in Abhängigkeit von der Kurvenform (Parabel 2. Grades für den X_{+,5}-Schnitt, Parabel 3. Grades für AT-Schnitt). Für Armbanduhrrquarze mit Biegeschwingern wird er in der Form $-a \cdot 10^{-8}/\text{K}^2$ angegeben.

Für Wohnraumuhrrquarze mit Dickscherungsschwinger gelten die Parabolkoeffizienten b_3 , b_2 und b_1 . Sie sind in ihrer Gesamtheit etwa um den Faktor 10 kleiner als der Koeffizient a beim Biegeschwinger, der etwa den Wert 4 hat.

Die *Alterung des Quarzes* beschreibt dessen Eigenschaft, langfristig seine Resonanzfrequenz zu verändern. Sie wird in Zehnerpotenzen angegeben. Gute Schwingquarze erreichen Alterungswerte von $2 \cdot 10^{-6}$.

Die *Stoßempfindlichkeit* eines Quarzes ist die Eigenschaft, durch äußere mechanische Einwirkungen entweder seine Nennfrequenz zu verändern oder aus seinen Halterungen gerissen und zerstört zu werden. Die Stoßempfindlichkeit ist um so größer, je größer die Eigenmasse des Quarzes ist.

Man gibt für die Stoßempfindlichkeit das Prüfverfahren an (sinusförmige Impulse in drei Koordinatenrichtungen einer bestimmten Größe, z. B. g und Dauer der Impulse).

Ausführungen

Schwingquarze mit einer Nennfrequenz von $32\,768\text{ Hz}$ werden überwiegend in Armbanduhren eingesetzt. Das ungünstigere Temperaturverhalten dieses Quarztyps als Biegeschwinger wird durch die am Arm herrschende weitgehend konstante Tragetemperatur ausgeglichen.

Die Grundsforderungen an Armbanduhrrquarze sind:

- minimale Größe
- hohe Güte

- geringe Eigenmasse
- geringe Stoßempfindlichkeit
- geringe Alterung.

Um die Forderungen nach hoher Güte und geringer Alterung zu erfüllen, sind Uhrenschwingquarze in Metallgehäusen mit hohem Vakuum untergebracht.

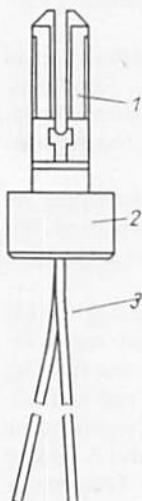


Bild 3.52. Quarzschwinger für Armbanduhren

1 Stimmgabelquarz; 2 Gehäuse; 3 Anschlüsse

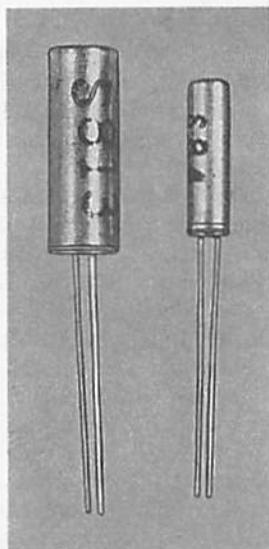
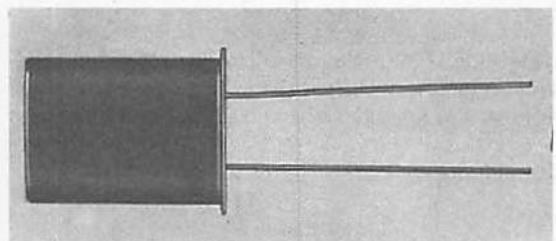


Bild 3.53. Stimmgabelschwinger für Quarz-Herren- und Quarz-Damenarmbanduhren

Geringe Eigenmasse und minimale Größe sind die Voraussetzung für eine geringe Stoßempfindlichkeit. Zur Erfüllung dieser Forderungen wurden die Biegeschwinger durch höhere Präzision in der Produktion immer weiter verkleinert. Da die Quarzstäbchen der Biegeschwinger in ihren Schwingungsknoten mit dünnen Drähten befestigt sind, konnte die Gefahr eines Abreißens bei Stößen weitgehend vermieden werden. Bild 3.52 zeigt den Aufbau eines Stimmgabelquarzes.

Quarzstimmgabelschwinger haben in bezug auf Güte, Alterungsverhalten, Temperaturabhängigkeit, Baugröße und Stoßempfindlichkeit bessere Eigenschaften als einfache Biegeschwinger. Bild 3.53 zeigt zwei Stimmgabelquarze für Quarzarmbanduhren, wie sie für Herrenuhren und für Damenuhren eingesetzt werden.

Quarzschwinger als Dickenscherungsschwinger mit einer Nennfrequenz von 4194304 Hz werden vorwiegend in Wohnraumuhren und Weckern verwendet. Sie zeichnen sich



*Bild 3.54
Wohnraumuhrquarz*

durch ein besseres Temperaturverhalten und ein einfacheres Herstellungsverfahren aus. Ihr Volumen und ihre Eigenmasse sind größer als die der Armbanduhrquarze.

Da Bauvolumen und Stoßempfindlichkeit bei Wohnraumuhren und Weckern nur eine sekundäre Rolle spielen, sind sie besonders für diese Uhrentypen geeignet. Der Schwingquarz ist ein einfaches viereckiges oder rundes Plättchen. Bild 3.54 zeigt einen Wohnraumuhrrquarz.

Abgleich

Schwingquarze haben, elektrisch gesehen, induktive und kapazitive Eigenschaften. Betreibt man sie in elektronischen Schwingsschaltungen, so lässt sich ihre Nennfrequenz durch Zuschalten von elektronischen Bauelementen induktiver oder kapazitiver Art in engen Grenzen beeinflussen. Aus ökonomischen und technischen Gründen schaltet man einen veränderlichen Kondensator in Serie oder in einer π -Schaltung in den Oszillatorkreis. Durch Verändern der Kondensatorkapazität lässt sich die Schwingfrequenz genau einstellen. Man bezeichnet diesen Vorgang auch als Trimmen und den dazu erforderlichen Kondensator als Trimmer. Bild 3.55 zeigt einen keramischen Scheibentrimmer für Herren- und Damenarmbanduhren.

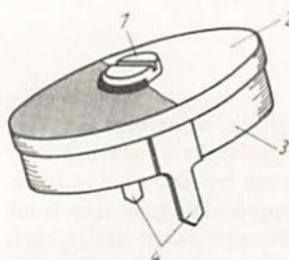


Bild 3.55. Uhrentrimmer

1 Abgleichschraube; 2 Rotor; 3 Stator; 4 Anschlußfahnen

Keramische Scheibentrimmer haben den Nachteil einer bestimmten Abgleichhysterese und der Feuchtempfindlichkeit. Um diesen Nachteil zu umgehen, verwendet man auch feste keramische Abgleichkondensatoren, bei denen der Abgleich mit einer Glasbürste durch Abtragen eines Teils der Kondensatorbelegung durchgeführt ist. Der Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, daß Abgleichfehler nicht korrigierbar sind.

Quarzoszillatoren

Quarzoszillatoren in Gebrauchsquarzuhren sind auf der Grundlage rückgekoppelter Verstärkerschaltungen aufgebaut.

Die Verstärkerschaltungen können als invertierende oder als nichtinvertierende Verstärker aufgebaut sein.

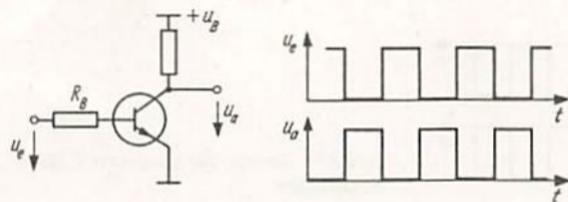


Bild 3.56. Invertierender Verstärker

Nichtinvertierende Verstärker sind elektronische Verstärker, bei denen keine Phasenverschiebung zwischen dem Verstärkereingang und dem Verstärkerausgang besteht.

Bei **invertierenden Verstärkern** besteht zwischen dem Verstärkereingangssignal und dem Verstärkerausgangssignal eine Phasenverschiebung von 180° . Bild 3.56 verdeutlicht die Funktion eines invertierenden Verstärkers.

Elektronische Verstärker werden durch Selbsterregung zu Oszillatoren. Um einen Verstärker als Oszillator zu betreiben, ist es erforderlich, einen Teil des Ausgangssignals auf den Eingang zurückzuführen (Rückkopplung) und wiederum zu verstärken.

Der Verstärker wird zu einem Oszillator, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Amplitudenbedingung: Verstärkung \cdot Rückkopplungsfaktor = 1;
- Phasenbedingung: Die Phasenlage des Signals am Eingang und am Ausgang des nichtinvertierenden Verstärkers muß identisch sein.
- Gleichzeitig muß das Produkt aus Verstärkung v und Rückkopplungsfaktor $k > 1$ werden (Amplitudenbedingung vk), um eine Selbsterregung des Verstärkers zu erreichen.

$$v = \frac{U_a}{U_e}$$

v Verstärkung

U_a Amplitude der Ausgangsspannung

U_e Amplitude der Eingangsspannung.

Sind die Phasenbedingung und die Amplitudenbedingung erfüllt, so arbeitet ein Verstärker als selbsterregter Oszillator, und es ist kein Eingangssignal mehr erforderlich.

Bild 3.57 zeigt einen Geradeaus- oder Linearverstärker, der mit bipolaren Transistoren aufgebaut ist. Die Kapazitäten $C1$ und $C2$ sind zur Rückkopplung des Ausgangssignals auf den Eingang erforderlich. Die Rückkopplung und damit die Phasengleichheit erfolgt durch π -Resonanzglied $C2$, Quarz und $C1$. Die Serienresonanzfrequenz wird mit dem Trimmer eingestellt.

In integrierten Schaltungen verwendet man invertierende Verstärker. Sie eignen sich für bipolare und unipolare Schaltungen. Bild 3.58 zeigt einen invertierenden Verstärker,

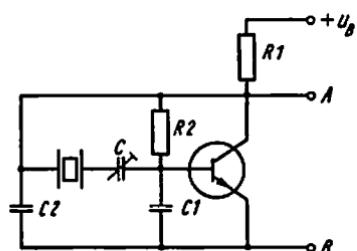


Bild 3.57. Geradeausverstärker in bipolarer Ausführung als Quarzoszillator

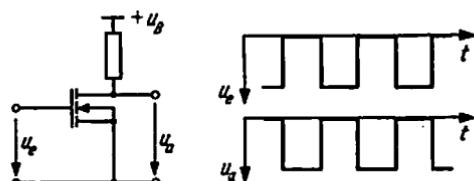


Bild 3.58. Inverter für integrierte CMOS-Schaltungen

wie er in einer integrierten Schaltung eingesetzt ist. Wegen der Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal um 180° muß zur Herstellung der Gleichphasigkeit das Rückkopplungsnetzwerk ebenfalls eine Phasenverschiebung von 180° aufweisen. Ein solches Netzwerk ist im Bild 3.59 dargestellt. Es ist Bestandteil der Quarzoszillatorschaltung nach Bild 3.58. Der Quarz wird durch die Oszillatorschaltung zu Schwingungen angeregt, so daß diese in der Resonanzfrequenz des Quarzes schwingt.

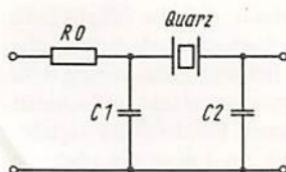


Bild 3.59. Rückkopplungsnetzwerk für Oszillatoren

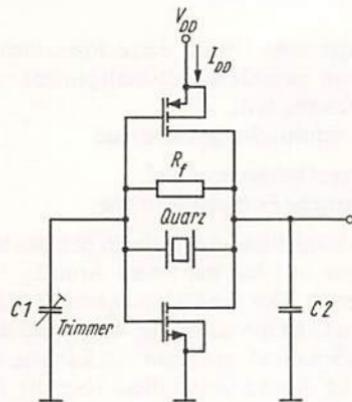


Bild 3.60. Quarzoszillator in CMOS-Schaltung

Ein Quarzoszillator in CMOS-Technik wird im Bild 3.60 gezeigt. Solche Schaltungen benötigen für die Aufrechterhaltung der Schwingung sehr geringe Energiebeträge. Sie haben sich für Uhrenschaltungen durchgesetzt. Zur Verminderung des Schaltungsaufwands integriert man den Kondensator C_2 und den Rückkopplungswiderstand R_f mit in den Schaltkreis. Der Trimmer C_1 dient zur Einstellung des Quarzes auf Nennfrequenz.

3.4. Umformerelemente elektronischer Uhren

Die zeitgleichen Schwingungen des Frequenznormals elektronischer Uhren werden durch Impulsfolgen dargestellt. Sie werden durch elektromechanische oder elektronische Umformerelemente in Zeitinformationen umgewandelt.

Die Umformung in eine analoge oder eine digitale Zeitanzeige kann durch

- Rädergetriebe,
- Schrittschaltgetriebe oder
- elektronische Frequenzteiler

erfolgen.

Kennzeichen der Umformerelemente elektronischer Uhren ist, daß man die Periodendauer der einzelnen Schwingungen zur Zeitanzeige zu größeren Zeiteinheiten summiert.

3.4.1. Rädergetriebe elektronischer Uhren

Für elektronische Uhren, deren Frequenznormal eine Frequenz von < 5 Hz hat, verwendet man Fortschalteinrichtungen wie für elektrische Uhren mit gleicher Schwingfrequenz. Sie sind unter 2.5.1. beschrieben. Der Aufbau der Rädergetriebe ist analog.

3.4.2. Schrittschaltgetriebe elektronischer Uhren

Für elektronische Uhren, deren Frequenznormal ein tonfrequenter Schwingen ist, verwendet man spezielle Schrittschaltgetriebe mit geringer Trägheit der Schaltmittel und mit kleinem Schaltschritt.

Solche Schrittschaltgetriebe sind

- Klinkenschaltgetriebe und
- magnetische Fortschaltgetriebe.

Klinkenschaltgetriebe mit kleinem Schaltschritt sind so aufgebaut, daß die Schaltklinke unmittelbar und fest mit einem Arm der Stimmgabel eines tonfrequenten Schwingers verbunden ist. Der Schaltklinkenarm ist federnd ausgeführt. Bei jeder Schwingung wird die Schaltklinke mit der vollen Amplitude des Stimmgabelarmes ausgelenkt und schaltet dabei ein Schaltrad, meist mit 300 Zähnen, um einen Zahn weiter. Bei der Rückwärtsbewegung der Klinke gleitet diese über die Zahnrückflanke bis zur Lücke des nächsten Zahnes und schaltet diesen bei der nächsten Vorwärtsbewegung um eine Teilung weiter. Während der Rückbewegung wird das Klinkenrad durch die Rastlinke festgehalten. Die Schwingamplituden tonfrequenter Schwingen liegen in einem Bereich von 0,5 bis 0,1 mm. Dieser Amplitude entsprechend ist auch der Schalthub der Schaltklinke gleich groß. Der Schalthub der Schaltklinke bestimmt die Größe der Zahnteilung des Schaltrades, die stets um einen geringen Betrag kleiner ist als der kleinste mögliche Schalthub. Bild 3.61 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Klinkenschaltgetriebe mit kleinem Schaltschritt.

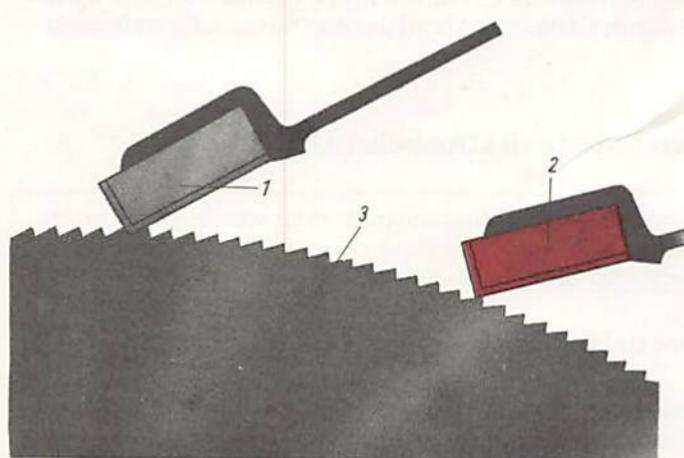


Bild 3.61. Klinkenfortschaltgetriebe einer Stimmgabeluhr

1 Sperrklinke; 2 Schaltklinke; 3 Schaltrad

Die Funktion dieses Schrittschaltgetriebes geht aus Bild 3.62 hervor. Die obere Phase des Bildes zeigt die antriebslose Stellung. Die Sperrklinke 1 fixiert das Schaltrad, während die Schaltklinke 2 die Rückwärtsbewegung ausführt. In der mittleren Phase wird das Schaltrad durch die Schaltklinke 2 weiterbewegt. Dabei gleitet die Sperrklinke über die Zahnrückflanke, bis sie in die nächste Zahnlücke fällt. Diese Stellung entspricht der antriebslosen Stellung und wird durch die untere Bildphase beschrieben.

Im vorliegenden Beispiel dreht sich das Schaltrad in 1 s 1,2 mal. Das erfordert eine große Untersetzung und mehrere Zwischenräder. Das Räderschema nach Bild 3.63 zeigt den Aufbau eines Rädergetriebes für tonfrequente elektronische Uhren.

Magnetische Fortschaltgetriebe arbeiten nach dem Prinzip der magnetischen Kopplung zwischen der Amplitudenbewegung des Schwingers und dem Fortschaltrad. Die Fort-

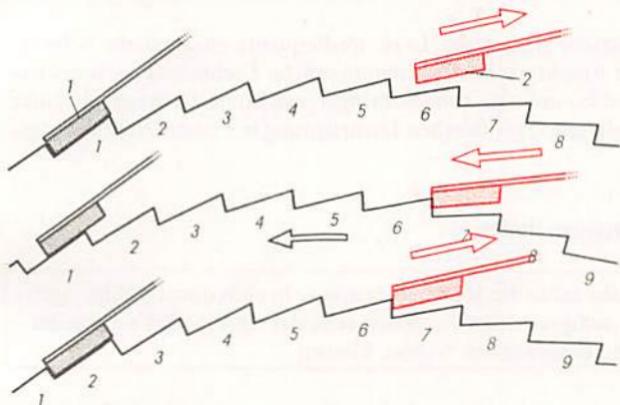


Bild 3.62. Wirkungsweise eines Klinkenfortschaltgetriebes bei kleinem Klinkenhub

1 Sperrklinke; 2 Schaltklinke

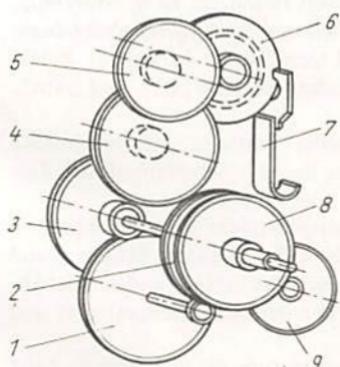


Bild 3.63. Räderschema einer Stimmgabeluhr

1 Kleinbodenrad; 2 Minutenenrad; 3 Sekundenrad; 4 2. Zwischenrad; 5 1. Zwischenrad; 6 Schaltrad; 7 Fortschaltklinke; 8 Stundenrad; 9 Wechselrad

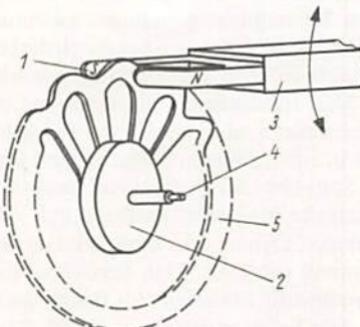


Bild 3.64. Magnetisches Fortschaltgetriebe

1 U-förmiger Magnet; 2 Trägheitsmasse; 3 Stimmgabelzinken; 4 Achse; 5 Fortschaltrad

schaltung erfolgt berührungslos. Bild 3.64 zeigt die prinzipielle Ausführung eines derartigen Getriebes. Es besteht aus dem weichmagnetischen Fortschaltrad 5 mit sinusförmigen Zähnen, einem unmagnetischen Ring 2 zur Erhöhung der Trägheit des Fortschaltrades und dem U-förmigen Fortschaltmagneten 1. Der Fortschaltmagnet 1 ist mit dem schwingenden Ende des tonfrequenten Biegeschwingers fest verbunden. Er führt eine Schwingbewegung aus, wobei die Verzahnung des Fortschaltrades 5 in seinem Luftspalt liegt. Durch die Schwingbewegung folgt das Fortschaltrad entsprechend seiner Zahnform der Magnetbewegung und führt eine kontinuierliche Drehbewegung aus, die wie bei einem Synchronmotor nur durch Anwerfen in die gewünschte Drehrichtung eingeleitet werden kann.

Der auf dem Fortschaltrad zusätzlich angebrachte Ring hat die Wirkung eines Schwungrades. Die in ihm gespeicherte Energie dient zum Überwinden der instabilen Antriebslagen des Fortschaltrades.

Magnetische Fortschaltgetriebe sind in der Lage, tonfrequente mechanische Schwingungen bei genügend großer Amplitude in eine kontinuierliche Drehbewegung umzusetzen. Sie müssen durch Anwerfen auf eine zum Swinger synchrone Drehzahl gebracht werden und sind zur Verhinderung einer falschen Drehrichtung mit einer Drehrichtungssperre versehen.

3.4.3. Elektronische Frequenzteiler

Elektronische Frequenzteiler teilen die Swingerfrequenz hochfrequenter Swinger auf Frequenzen, die vom nachgeschalteten elektromechanischen Wandler verarbeitet und in eine Drehbewegung umgewandelt werden können.

In Uhren mit vollelektronischen Zeitanzeigen haben Frequenzteiler die Aufgabe, die Frequenz des hochfrequenten Schwingers in zeitäquivalente Informationen umzusetzen. Zeitäquivalente Informationen sind Stunde, Minute, Sekunde, Zehntelsekunde, Hundertstelsekunde, Wochentag, Datum, Jahr.

Um die Genauigkeit des hochfrequenten Schwingers voll zu nutzen, ist es notwendig, elektronische Frequenzteiler einzusetzen, deren Teilerfunktion weitgehend unabhängig von Versorgungsspannungsschwankungen ist. Solche Eigenschaften haben nur Binärteiler. Sie zeichnen sich aus durch die beiden eindeutigen Schaltzustände „Ein“ und „Aus“. Binärteiler werden als Flipflop bezeichnet.

Man unterscheidet statische und dynamische Binärteiler. Statische und dynamische Binärteiler sind so aufgebaut, daß jeder am Teileingang liegende Schaltimpuls den Teiler in einen anderen Schaltzustand kippt.

Statische und dynamische Binärteiler teilen die Eingangsfrequenz im Verhältnis 2:1. Statische Binärteiler werden durch jeden Eingangsimpuls in einen anderen Schaltzustand gekippt. Dynamische Binärteiler werden durch eine Impulsflanke in einen anderen Schaltzustand gebracht. Man bezeichnet darum statische Binärteiler als impulsgesteuert und dynamische Binärteiler als flankengesteuert.

Alle Teiler arbeiten mit einer durchgeschalteten Transistorstufe, die in diesem Zustand Strom zieht. Für Uhren werden komplementäre Teilerschaltungen eingesetzt, die nur im Umschaltaugenblick für wenige Nanosekunden Strom verbrauchen. Sie geben bei jedem zweiten Eingangsimpuls einen Ausgangsimpuls ab. Dynamische Binärteiler bezeichnet man auch als T-Flipflops (Bild 3.65).

Da jede Teilerstufe nur im Verhältnis 2:1 teilt, müssen die Nennfrequenzen der Frequenznormale (Quarze) ein n-faches des Teilverhältnisses sein.

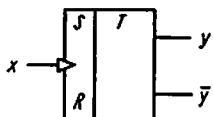


Bild 3.65. Binärer Teiler

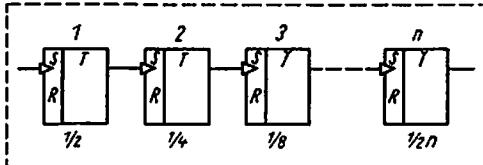


Bild 3.66. Teilerschaltung

Teilerschaltungen für elektronische Uhren enthalten sowohl statische als auch dynamische Binärteiler. Sie werden nur noch als komplementäre integrierte Schaltungen ausgeführt. Im logischen Schaltbild sind sie eine Serienschaltung von Teilerstufen. Eine derartige Schaltung zeigt Bild 3.66.

Vollelektronische Uhren erfordern für die Darstellung von Dezimalen oder für die Darstellung von 12 und 24 Stunden spezielle Teilerschaltungen.

Eine Möglichkeit, Binärzahlen in Dezimalzahlen umzuwandeln, bietet der BCD-Code (binary-coded-dezimal). Bei diesem Code werden die Dezimalzahlen 0 bis 9 aus den Quersummen der Ziffern 8421 gebildet. Man bezeichnet ihn deshalb auch als 8421-Code.

Jede dieser Ziffern entspricht der Binärinformation H (high = hoch). Daraus ergeben sich die Daten nach Tafel 3.7.

Bild 3.7 zeigt die Logik-Schaltung eines Dezimalzählers, dessen einzelnen Stufen die Wertigkeiten 8, 4, 2, 1 zugeordnet sind. Beim Auftreten der Binärinformation HLHL = 8020 = 10 werden die Teilerstufen über den Anschluß R (Reset) auf den Wert LLLL = 0 zurückgestellt.

Die aus den Niveauständen der einzelnen Teilerstufen gebildeten Ziffern müssen nun zusätzlich durch eine weitere Umkodierung zur Ansteuerung der sieben Ziffernbalken aufbereitet werden.

Dezimalzahl	8421-Code	Binärwort
0	0000	LLLL
1	0001	LLLH
2	0020	LLHL
3	0021	LLHH
4	0400	LHLL
5	0401	LHLH
6	0420	LHHL
7	0421	LHHH
8	8000	HLLL
9	8001	HLLH

Tafel 3.7. Werte nach dem 8421-Code

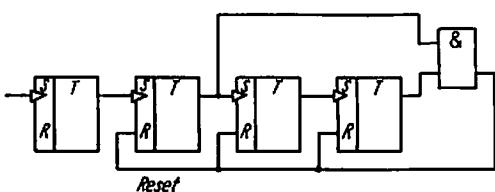


Bild 3.67. Dezimalteiler nach dem 8421-Code

Die Lösung dieser Aufgaben ist ein kombinatorisches Problem, das in den Schaltkreisen durch Integration der Einzelfunktionen gelöst ist.

Frequenzteiler analoger Quarzuhrnen enthalten Leistungsausgänge, die im Gegensatz zu den Teilerstufen relativ hohe Gleichstromimpulse abgeben müssen. Für Teiler in CMOS-Technik bedeutet das eine Vergrößerung der Chipfläche. Die Ansteuerung des Schrittwandlers kann vom Teiler aus durch unipolare oder bipolare Impulse erfolgen.

Frequenzteiler mit unipolarem Teilerausgang erfordern zur funktionssicheren Ansteuerung des Schrittwandlers genau definierte Impulslängen. Sie sind gegenüber bipolaren weniger häufig.

Frequenzteiler mit bipolarem Teilerausgang müssen an ihren beiden Leistungsausgängen zeitversetzt Ausgangsimpulse ausgeben, um die für die Ansteuerung des Schrittwandlers erforderlichen Impulse gegensinniger Polarität zu erzeugen. Dabei fließt beim ersten Ausgangsimpuls der Strom vom Ausgang *A1* über die Wicklung des Schrittwandlers zum Ausgang *A2*, während beim zweiten Impuls der Strom vom Ausgang *A2* über die Wicklung des Schrittwandlers zum Ausgang *A1* fließt (Bild 3.68).

Frequenzteiler für digitale Uhren erfordern für die Ansteuerung von Leuchtdioden (LED) hoch belastbare Ausgänge, die Gleichstromimpulse abgeben.

Frequenzteiler für digitale Uhren mit Flüssigkristallanzeige liefern an ihren Dekodierausgängen Wechselspannungsimpulse. Die Dekodierausgänge dieser Teiler sind nur gering belastbar, weil zur Ansteuerung der Anzeigen nur Ströme in der Größenordnung von Nanoampere benötigt werden. Die Frequenz dieser Wechselspannungsimpulse beträgt etwa 32 Hz.

Frequenzteiler für Uhren mit LED-Anzeige und Frequenzteiler für Uhren mit LCD-Anzeige sind aus diesem Grund nicht gegeneinander austauschbar.

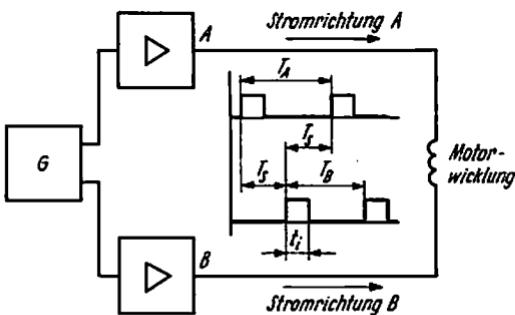


Bild 3.68. Impulsbild für den Ausgang eines Frequenzteilers mit Treiber für einen bipolaren Schrittmotor

t_i Impulsdauer; T_A Impulsabstand am Ausgang *A*; T_B Impulsabstand am Ausgang *B*; t_s Schaltimpulsabstand

Die Stromaufnahme integrierter Frequenzteiler ist von

- der Anzahl der Teilerstufen,
- der Integrationstechnik (bipolar oder CMOS),
- der Gate-Technik

abhängig.

Bipolare Schaltkreise in herkömmlicher Integrationstechnik werden für Uhren nicht mehr angewandt. Sie wurden in Quarzuhrnen der ersten Generation eingesetzt.

CMOS-Teilerschaltkreise entsprechen den Forderungen der Uhrentchnik am besten. Sie zeichnen sich durch

- geringen Leistungsbedarf,
- einen Betriebsspannungsbereich zwischen 1,2 und 1,6 V,

- einen breiten Einsatztemperaturbereich und
- eine hohe Betriebszuverlässigkeit

aus. Die Unterschiede in den elektrischen Eigenschaften zwischen bipolaren und unipolaren (CMOS-Schaltkreisen) zeigt Tafel 3.8.

Tafel 3.8. Unterschiede der elektrischen Eigenschaften von Schaltkreisen

Integrationstechnik	Bipolar	CMOS-MGT	CMOS-SGT
Arbeitsspannungsbereich	1,0 ... 1,8 V	1,2 ... 1,8 V	1,2 ... 1,8 V
Stromaufnahme bei 32 kHz	4 μ A	1 μ A	0,2 μ A
max. Oszillator und Teilerfrequenz	100 kHz	4,5 MHz	6 MHz
Bereich der Arbeits- temperatur	0 ... 60 °C	-20 ... 60 °C	-20 ... 60 °C

In elektronischen Uhren werden Frequenzteiler als integrierte Schaltkreise in verkappter Ausführung (im Schaltkreisgehäuse) oder als passivierter Chip (durch Kunstharz vergossener Nacktchip) eingesetzt.

Verkappte Schaltkreise zeichnen sich durch ein gegen mechanische Beschädigungen unempfindliches Gehäuse aus. Dieses Gehäuse kann aus Plast oder aus Keramik bestehen. Für Wohnraumuhren und Wecker verwendet man Gehäusetypen, die als Standardtypen bereits für allgemeine elektronische Anwendungszwecke verwendet werden. Da bei diesen Uhrentypen keine Raumprobleme bestehen, sind diese Gehäuse relativ groß. Es sind meist sog. DIL-Gehäuse (dual-in-line). Bild 3.69 zeigt einen Schaltkreis für Wohnraumuhren in einem 10poligen DIL-Gehäuse.

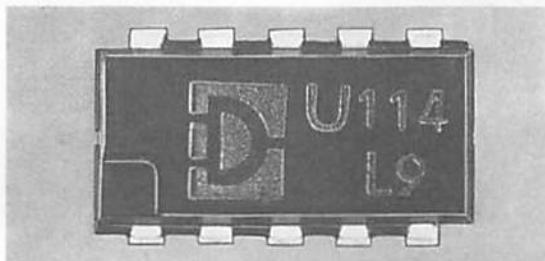


Bild 3.69. Schaltkreis für Wohnraumuhren im 10poligen Dual-in-line-Gehäuse

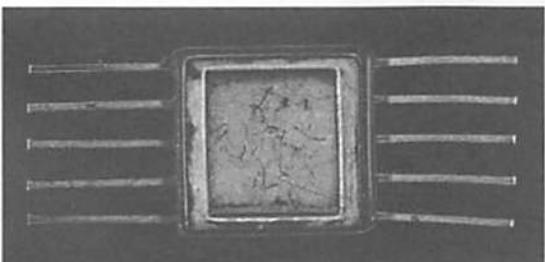


Bild 3.70. Schaltkreis für Quarz-Herrenarmbanduhren im 10poligen keramischen Flat-pack-Gehäuse

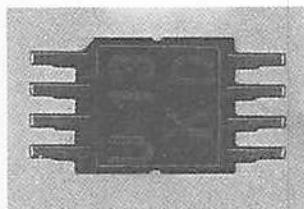
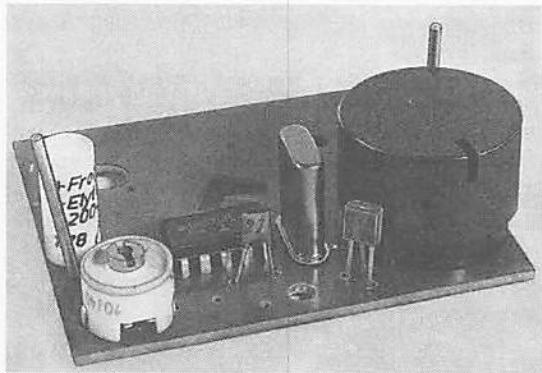


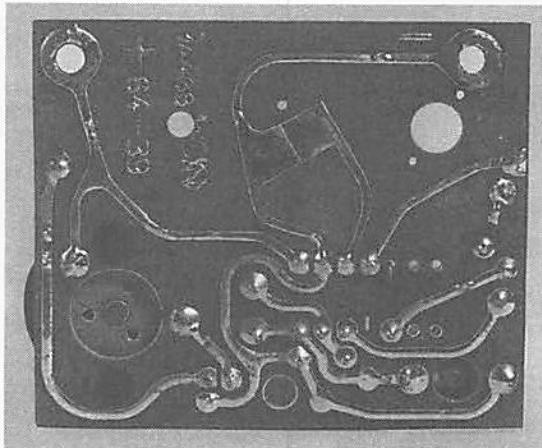
Bild 3.71. Schaltkreis für Quarz-Herrenarmbanduhren im 8poligen Miniaturplast-flat-pack-Gehäuse

Für Armbanduhren mit analoger Anzeige sind diese Gehäusetypen zu groß. Man verwendet daher entweder keramische Flat-pack-Gehäuse mit 6 oder 10 Gehäuseanschlüssen (Bild 3.70) oder Miniflat-pack-Gehäuse in Plastausführung, ebenfalls mit 6 oder 8 Gehäuseanschlüssen (Bild 3.71).

Verkappte Gehäuse werden auf die als Träger für die elektronische Schaltung dienende Leiterplatte aufgelötet. Die Anschlüsse des Schaltkreises bei Wohnraumuhrn werden in Bohrungen der Leiterplatte eingesteckt und auf der dem Schaltkreis abgewandten Seite mit den Leiterbahnen verbunden (Bild 3.72). Bei Schaltkreisen im Flat-



a)



b)

Bild 3.72. Leiterplatte mit aufgelötem Schaltkreis

a) Bauelementenseite; b) Leiterseite

pack-Gehäuse verzichtet man auf das Abwinkeln der Anschlüsse und lötet sie in vielen Fällen flach auf die Leiterzüge auf.

Schaltkreise für vollelektronische Uhren haben wegen der Ansteuerung der einzelnen Ziffernbalken mehr als vierzig Anschlüsse (jede Ziffer hat 7, d. h., für 6 Ziffern $6 \cdot 7 = 42$; dazu kommt ein Masseanschluß). Ein Verkappen ist bei diesen Schaltkreisen nicht mehr wirtschaftlich. Man klebt darum den Nacktchip auf die Leiterplatte und verbindet seine Anschlüsse durch aufgeschweißte Drahtbrücken mit den Leiterzügen der Leiterplatte. Dieses Verfahren bezeichnet man als Bonden. Die aus $20 \dots 25 \mu\text{m}$ dickem Draht bestehenden Brücken und der Schaltkreis werden nach dem Bonden durch Aufbringen eines aushärtenden Kunstharztropfens gegen äußere Beschädigungen geschützt. Leiterplatten dieses Typs lassen kein Auswechseln des Schaltkreises zu. Das Auswechseln aufgelöster Schaltkreise ist möglich, erfordert aber einen Spezial-Niederspannungslötkolben, der zusätzlich durch eine Leitung geerdet ist.

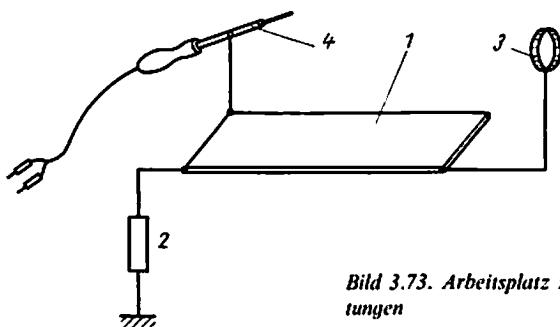


Bild 3.73. Arbeitsplatz zur Verarbeitung von CMOS-Schaltungen

1 metallbelegte Hartpapierplatte als Arbeitsplatte; 2 Schutzwiderstand $10 \text{ M}\Omega$; 3 Metallarmband; 4 Niederspannungslötkolben

Während der Verarbeitung integrierter Schaltkreise muß die Arbeitsfläche und auch die Person mit Erdleitung versehen sein, um statische Aufladungen der Arbeitsmittel sofort abzuleiten. Das Tragen von synthetischen Bekleidungsstücken ist wegen der hohen statischen Aufladung nicht zulässig (Bild 3.73).

3.5. Energiewandler elektronischer Uhren

Die an den Ausgängen der elektronischen Teilerschaltungen vorliegenden elektrischen Impulse lassen sich nicht unmittelbar in Zeitinformationen umwandeln.

Soll die Zeit in analoger Form angezeigt werden, müssen die elektrischen Impulse durch Wandler in mechanische Drehbewegungen umgeformt werden.

Soll die Zeit mit elektronischen Mitteln digital angezeigt werden, müssen die an den Ausgängen der Teilerschaltungen vorliegenden Zeitinformationen so umgewandelt werden, daß digitale Informationen aus 7-Balken-Ziffern gebildet werden. Man bezeichnet Schaltkreise, die diese Funktionen erfüllen, als Dekodierschaltkreise oder Dekodierer. Ihre Funktion entspricht dem Schrittwandler mit dem nachgeschalteten Rädergetriebe der analog anzeigenenden Uhr.

3.5.1. Elektromechanische Wandler

Elektromechanische Wandler formen die zeitäquivalente Impulsinformation in eine zeitäquivalente Drehbewegung um.

Liegen die Frequenzen der zeitäquivalenten elektronischen Impulse im Bereich zwischen 5 Hz und 0,0167 Hz, so verwendet man Schrittwandler zur Erzeugung der Drehbewegung. Für Impulsfrequenzen größer als 16 Hz setzt man zur Erzeugung der Drehbewegung Synchronmotoren ein.

Die Gangdauer elektronischer Uhren ist vom Energieinhalt der Spannungsquelle und vom Energieverbrauch der Uhr abhängig. Hauptverbraucher elektrischer Energie in analog anzeigenden elektronischen Uhren ist der elektromechanische Wandler, dessen Aufgabe in der Umwandlung elektrischer in mechanische Energie besteht. Auf Grund seines Aufbaus wird ein großer Teil der zugeführten elektrischen Energie durch die entstehende Reibung in Wärmeenergie und nicht in ein energiegleiches Drehmoment umgewandelt. Sie haben einen kleinen Wirkungsgrad. Zum Aufbau von analog anzeigenden elektronischen Uhren langer Gangdauer müssen elektromechanische Wandler folgende Forderungen erfüllen:

- hoher Wirkungsgrad
- Betriebsspannungsbereich zwischen 1,0 und 1,6 V
- minimale Stromaufnahme
- hohes Drehmoment
- Temperaturunempfindlichkeit
- Unempfindlichkeit gegen magnetische Fremdfelder.

Dazu setzt man elektromechanische Schrittwandler ein. Sie arbeiten auf der Grundlage des elektromotorischen Prinzips. Ihre Drehbewegung erfolgt in Schritten. Der Aufbau des Schrittwandlers beeinflusst die erforderlichen Ausgangsgrößen der Teilerschaltkreise.

Schrittwandler werden entweder als unipolare oder als bipolare Antriebe ausgeführt.

Unipolare Schrittwandler schalten beim Anliegen eines Antriebsimpulses gleichbleibender Polarität um einen Schaltschritt weiter.

Bipolare Schrittwandler schalten nur dann um einen Schaltschritt weiter, wenn der folgende Ausgangsimpuls des Teilers eine entgegengesetzte Stromflußrichtung zum vorhergehenden Impuls hervorruft.

Entsprechend ihrem Funktionsprinzip erfordern unipolare Schrittwandler genau definierte Impulslängen, die auf das anliegende Gegenmoment des folgenden Räderwerks abgestimmt sind. Sie sind gegen Änderungen des anliegenden Lastmoments empfindlich und schalten bei zu großer Last nicht weiter; bei zu geringer Last schaltet der Schrittwandler mit Doppelschritten.

Bipolare Schrittwandler sind gegen Lastschwankungen unempfindlich. Die Dauer des Antriebsimpulses ist weniger kritisch als beim unipolaren Schrittwandler. Schwankungen des Lastmoments werden auf Grund des Wirkprinzips leichter ausgeglichen. Bipolare Schrittwandler arbeiten auch bei zu geringer Belastung sicher.

Für stationäre Uhren wendet man auch elektromechanische Wandler mit Winkelschritt an. Sie zeichnen sich durch Unempfindlichkeit gegen magnetische Fremdfelder

aus. Ihr Nachteil besteht in ihrer Empfindlichkeit gegen Drehstöße, die einen Einsatz in tragbaren Uhren verbietet.

Elektromechanische Schrittwandler werden mit beweglichem Magnetsystem oder mit beweglichem Spulensystem ausgeführt. Daraus ergeben sich die folgenden Wandlerarten:

3.5.1.1. Umlaufende unipolare Wandler

Unipolare magnetische Schrittwandler erzeugen ein Drehmoment, indem einem axial magnetisierten permanentmagnetischen Rotor ein Abstoßungsimpuls erteilt wird, der vom magnetischen Feld einer ortsfesten Spule erzeugt wird.

Die Dauer dieses Impulses ist so festgelegt, daß der Rotor bei anliegendem vorgegebenem Lastmoment einen Schritt ausführt, der durch magnetische Rastelemente begrenzt wird.

Bild 3.74 zeigt einen unipolaren elektromechanischen Schrittwandler. Die Rotscheibe besteht aus einem keramischen Dauermagnetwerkstoff in der Magnetisierung N-S-N-S. Unter den Magnetisierungszonen des Rotors sind Spulen so angeordnet, daß ihr Magnetfeld beim Anliegen des Antriebsimpulses eine Drehbewegung erzeugt, die in gleichbleibender Richtung ausgeführt wird. Zur Bestimmung der Drehbewegung sind Rastmittel so angeordnet, daß nach Beendigung des Antriebsimpulses der Rotor in eine vorbestimmte Lage einrastet, die die Drehrichtung fixiert. Der durch die Spule erzeugte Antriebsimpuls muß dabei größer als das durch die Rastung und das Lastmoment bestimmte Gegenmoment sein. Seine Zeitdauer darf nicht länger sein als die äquivalente Beschleunigung bis zum Erreichen der Raststellung.

Unipolare elektromechanische Schrittwandler können nach dem beschriebenen Funktionsprinzip 2, 4 und 6 Schaltstufen bei einer vollen Rotorumdrehung ausführen. Sie werden mit zunehmender Schrittzahl unempfindlicher in bezug auf die Gegenlast und die Impulsdauer. Mit kleiner werdendem Winkelschritt erhöhen sich die Schwierigkeiten ihrer praktischen Ausführbarkeit.

Unipolare Schrittwandler mit umlaufendem Spulensystem und feststehendem mehrpoligem Magnetsystem als Umkehrung des Funktionsprinzips nach Bild 3.74 zeichnen sich durch Unempfindlichkeit gegen magnetische Fremdfelder aus. Ihre Zuverlässigkeit wird durch die Kontakte zur Zuführung der Antriebsimpulse negativ beeinflußt. Sie erfordern einen hohen Fertigungsaufwand und werden aus diesem Grund nicht hergestellt.

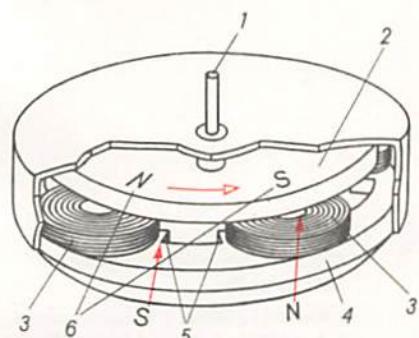


Bild 3.74. Unipolarer elektromechanischer Schrittwandler

1 Welle; 2 Läufer; 3 Spulen; 4 Ständer (Weich-eisen); 5 Rastpole; 6 Magnet, axial magnetisiert

3.5.1.2. Umlaufende bipolare Wandler

Bipolare Wandler müssen durch Impulse entgegengesetzter Polarität angesteuert werden. Ihr permanentmagnetischer Rotor ist diametral magnetisiert. Er wird durch magnetische Rastelemente in seiner Lage fixiert. Die Drehbewegung entsteht durch magnetische Abstoßung.

Die Antriebsimpulse werden einer Spule zugeführt, deren elektromagnetisches Feld so groß sein muß, daß die durch die Rastung hervorgerufene Fixierung des Rotors überwunden wird. Die Zeitdauer der Antriebsimpulse muß so groß sein, daß der Rotor durch die Anziehungskraft des folgenden Rastelements in seine nächste Ruhelage gezogen wird. Längere Impulse wirken bremsend auf die Rotorbewegung, weil für die folgende Bewegungsphase Rotorpolarität und Polarität des Antriebsimpulses übereinstimmen müssen.

Umlaufende bipolare Wandler werden als Schrittmotoren mit offenem und mit geschlossenem magnetischem Feld hergestellt. Bild 3.75 zeigt einen Schrittwandler mit offenem magnetischem Feld. Der Rotor ist eine diametral magnetisierte Dauermagnetscheibe. Sie wird durch Raststifte, die in den Freiräumen des Wickelraums angebracht sind, fixiert. Die Spule ist zeitweilig gewickelt und überdeckt die Scheibenhälfte um etwa 50 %. Fließt durch die Spule ein Antriebsimpuls von A1 nach A2, so wird der Rotor aus seiner Ruhelage gestoßen und rastet in seiner zweiten stabilen Raststellung ein. Fließt der zweite Impuls von A2 nach A1, so wird der Rotor wiederum aus seiner Ruhelage gestoßen und rastet in seiner nächsten Raststellung ein. Störimpulse gleichsinniger Polarität bringen das System nicht aus seiner Ruhestellung, da Impulslänge und Größe gemeinsam mit der Polarität den Schaltschritt bestimmen. Elektromechanische bipolare Wandler mit offenem Magnetfeld zeichnen sich durch einen einfachen Aufbau und durch leichte technologische Beherrschbarkeit aus. Ihr Wirkungsgrad ist wegen der fehlenden Bündelung des Spulenfeldes relativ gering. Sie erfüllen nur hinreichend die Forderung nach geringstmöglichen Leistungsbedarf.

Bipolare Wandler mit geschlossenem Eisenkreis haben einen höheren Wirkungsgrad. Ihr Leistungsbedarf ist bei gleichem Drehmoment geringer. Sie sind in ihrem Grundaufbau den Schrittschaltwerken der Nebenuhren äquivalent. Die Polschuhe dieser Schrittschalter haben einen Versatz von wenigen hundertstel Millimeter zueinander.

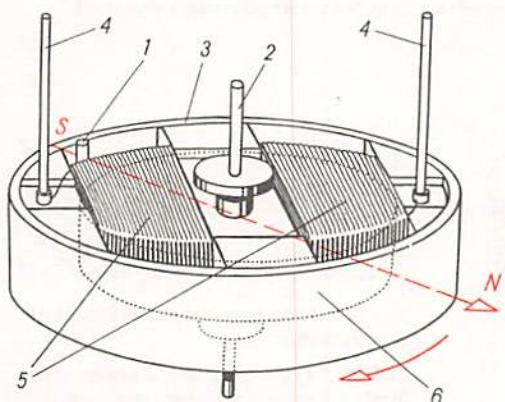


Bild 3.75. Umlaufender bipolarer Schrittwandler

1 Raststift; 2 Welle; 3 Weicheisenmantel;
4 Anschlüsse; 5 Spule; 6 Läufer (Rotor)

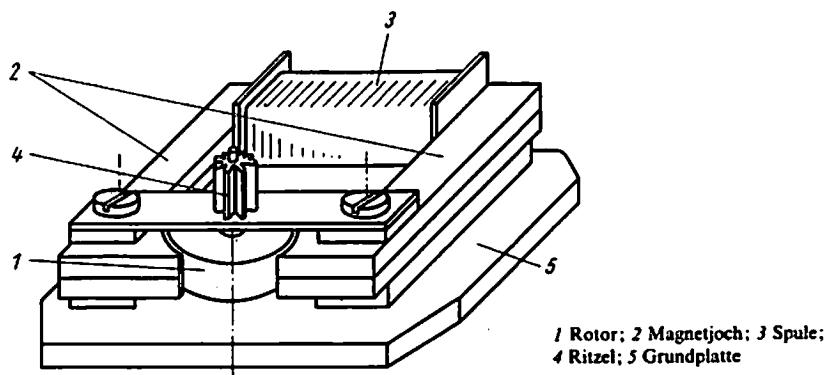


Bild 3.76. Bipolarer Schrittmotor mit geschlossenem Eisenkreis

Der diametral magnetisierte Rotor wird durch die versetzten Polschuhe in seiner Lage fixiert. Wegen der Bündelung des Spulen- und Rotormagnetfeldes durch das ferromagnetische Joch des Motors sind die Schrittschalter kritischer in der Justage der Polschuhe und bei der Erzielung des maximalen Drehmoments. Schrittschaltmotoren mit geschlossenem Eisenkreis sollen aus diesem Grund nicht demontiert werden. Bild 3.76 zeigt einen Schrittschaltmotor für elektronische Armbanduhren mit analoger Anzeige.

Tafel 3.9. Eigenschaften, Vor- und Nachteile von Schrittwandlern

Wandlertyp	Eigenschaften	Vorteile	Nachteile
Unipolarer Wandler	permanent-magnetischer Rotor drehbares Spulensystem	einfacher Aufbau unempfindlich gegen Fremdmagnetsfelder	kritische Impulslänge kritischer Aufbau; mechanische Fixierung der Rastphasen notwendig
Bipolarer Wandler	umlaufender Dauermagnet	einfacher Aufbau; eindeutige magnetisch fixierte Raststellung	empfindlich gegen magnetische Fremdfelder
	umlaufendes Spulensystem	unempfindlich gegen magnetische Fremdfelder	aufwendiger Aufbau; keine kontaktlose Stromzuführung zum Rotor; mechanische Fixierung der Raststellung notwendig

Schrittschaltmotoren nach diesem Prinzip sind empfindlich gegen äußere Magnetfelder und bleiben bei entsprechend starken Feldern stehen.

Bipolare umlaufende elektromagnetische Wandler lassen sich theoretisch auch mit umlaufendem Spulensystem aufbauen. Sie zeigen dann in bezug auf die Empfindlichkeit gegen äußere magnetische Felder gute Eigenschaften und lassen sich durch diese nicht beeinflussen. In ihrem technologischen und konstruktiven Aufbau sind sie aufwendig. Da die Spannung über mechanische Kontakte zugeführt werden muß, werden sie nicht hergestellt. Eine Übersicht über die Eigenschaften unipolarer und bipolarer Schrittwandler gibt Tafel 3.9.

3.5.1.3. Unipolare Wandler mit Winkelschritt

Elektromechanische Wandler mit Winkelschritt führen als Antriebsbewegung nur eine Winkelbewegung aus. Die Winkelbewegung wird durch Schrittschalter mit Klinkenfortschaltungen in eine Drehbewegung umgeformt. Ihre Funktion beruht auf dem elektromotorischen Prinzip.

Entsprechend ihrem Wirkprinzip sind elektromechanische Wandler mit Winkelschritt nicht rotationssymmetrisch aufgebaut. Sie zeigen wegen ihres großen Zentrifugalmoments ungünstige Eigenschaften bei tragbaren Uhren. Wegen ihres einfachen Aufbaus eignen sie sich für orts- und lagegebundene Uhren wie Wohnraumuhren und Wecker.

Bild 3.77 zeigt einen unipolaren Wandler mit Winkelschritt und bewegtem Magnetsystem. Das Magnetjoch mit einem Dauermagneten ist mit dem Fortschaltanker verbunden. Die Spule wird vom Magnetjoch umschlossen. Sie ist fest mit dem Gestell der Uhr verbunden.

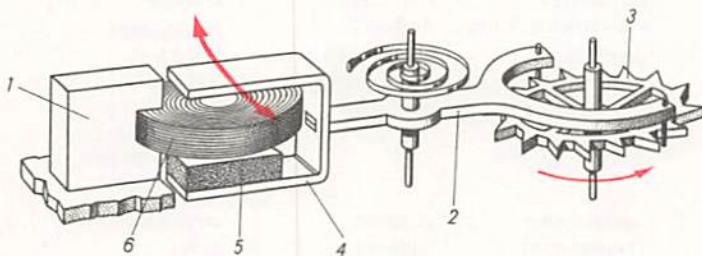


Bild 3.77. Unipolarer Wandler mit Winkelschritt und bewegtem Magnetsystem

1 Spulenhalter; 2 Fortschaltanker; 3 Fortschaltrad; 4 Magnetjoch; 5 Magnet; 6 Spule

Zum Antrieb werden Impulse gleicher Polarität benötigt. Beim Eintreffen eines Impulses wird ein Magnetfeld durch die Spule aufgebaut und das gegensinnige Feld des Magnetjochs aus dem Bereich des Spulenfeldes herausgestoßen. Die Spiralfeder führt den Anker bei Impulsende in seine Ausgangslage zurück.

Trotz des Magnetjochs ist das Antriebssystem empfindlich gegen magnetische Fremdfelder. Beim Einsatz in tragbaren Uhren müssen Mittel vorgesehen werden, die beim Auftreten von Drehstößen gegenläufige Momente erzeugen. Solche Mittel sind gegenläufige Massenanordnungen mit gleich großem Zentrifugalmoment.

Entsprechend ihrem physikalischen Wirkprinzip lassen sich diese Wandler in ihrem Aufbau auch umkehren. Dabei wird die Spule zum fest mit dem Fortschaltanker

verbundenen Antriebselement. Die Spannungszuführung erfolgt über zwei Spiralen. Das System zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Es ist unempfindlich gegen von außen wirkende fremde Magnetfelder. In tragbaren Uhren müssen gegenläufige Massenanordnungen so mit dem Wandler verbunden werden, daß von außen einwirkende Drehstöße wirkungslos werden.

3.5.1.4. Bipolare Wandler mit Winkelschritt

Bipolare Wandler mit Winkelschritt müssen mit bipolaren Impulsfolgen angetrieben werden. Sie haben zwei stabile Ruhelagen, die um einen festen Winkel, den Schrittwinkel, auseinander liegen. In diesen Ruhelagen sind sie durch Rastmagnete oder mechanische Fixierungen arretiert.

Bild 3.78 zeigt einen bipolaren Wandler mit Winkelschritt. Sein Schaltanker trägt zwei Spulen, von denen jeweils eine in der Ruhelage des Ankers über der Mitte eines Permanentmagneten liegt. Die Permanentmagnete sind im Magnetjoch so angeordnet, daß ihre Felder zueinander gegensinnig verlaufen. Die Spulen sind in ihrem Wickelsinn so verbunden, daß bei jedem Antriebsimpuls der Anker von der einen stabilen Ruhelage in die andere gedrückt wird. Während der Winkelbewegung wird ein Drehmoment erzeugt, das auf das Fortschaltrad einwirkt und dieses schrittweise weiterbewegt.

Die Spiralfeder wird während der Drehbewegung nicht mit Energie aufgeladen. Sie dient zur Zuführung der Antriebsimpulse. Der Kompensationskörper gleicht die Wirkung des Impulsmoments aus.

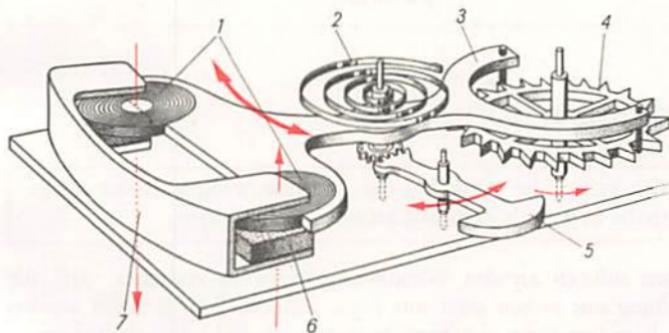


Bild 3.78. Bipolarer Wandler mit Winkelschritt

1 Spulen; 2 Spirale zur Stromzuführung; 3 Schaltanker; 4 Fortschaltrad; 5 Kompensationskörper; 6 Magnet; 7 Magnetjoch

Das Prinzip ist umkehrbar in eine Anordnung mit bewegten Antriebsmagneten. Im Gegensatz zum Antrieb mit Luftspulen ist dieses System empfindlich gegen äußere Magnetfelder, aber einfacher im Aufbau.

In bezug auf Drehstöße hat es die gleichen Nachteile wie das erstgenannte Prinzip. Tafel 3.10 faßt die Eigenschaften unipolarer und bipolarer Wandler mit Winkelschritt zusammen.

Tafel 3.10. Eigenschaften, Vor- und Nachteile von Wandlern mit Winkelschritt

Wandlerotyp	Eigenschaften	Vorteile	Nachteile
Unipolarer Wandler	bewegte Magnete	einfacher Aufbau	empfindlich gegen fremde Magnetfelder; Kompen-sationsmasse erforderlich
	bewegte Spule	unempfindlich gegen magnetische Störfelder	komplizierter Aufbau; Kompensationsmasse erforderlich
Bipolarer Wandler	bewegte Magnete	einfacher Aufbau; keine Rückstellspirale; definierte Ruhelagen, die fixiert sind	empfindlich gegen äußere Magnetfelder; zwei Spulen erforderlich; Kompensationsmasse erforderlich
	bewegte Spule	unempfindlich gegen äußere Magnetfelder; keine Rückstellspirale; sichere Fixierung in den Ruhelagen	komplizierter Aufbau; Kompensationsmasse erforderlich

3.5.2. Elektronische Wandler

Elektronische Wandler haben die Aufgabe, die aus dem Frequenzteiler stammenden Sekundenimpulse in digitale Zeitinformationen umzuformen.

Diese Zeitinformationen müssen an den Wandlerausgängen so vorliegen, daß alle Ziffern der Zeitdarstellung aus sieben oder aus neun Ziffernbalken gebildet werden können. Elektronische Wandler dieser Art bezeichnet man als Dekodierschaltungen.

Dekodierschaltungen sind elektronische Teiler mit logischen Verknüpfungen zur Umwandlung der zeitäquivalenten Impulse in Zifferndarstellungen. Sie werden als integrierte CMOS-Schaltungen ausgeführt.

In ihrem Grundaufbau bestehen Dekodierschaltungen aus einer Anzahl verschiedener Zähler, die die Impulsfolgen entsprechend der Stunden-, Minuten- und Sekundenrechnung addieren. Danach wird der Sekundenimpuls in einem Zehnersekundenzähler so summiert, daß nach jedem zehnten Sekundenimpuls der Zehnersekundenzähler um einen Impuls weitergestellt wird. Durch den 6. Sekundenzehnerimpuls wird der Zähler auf Null und der Minutenzähler um einen Impuls weitergeschaltet. Zehnerminuten- und Minutenzäh-

ler arbeiten wie die entsprechenden Sekundenzähler. Nach jedem 6. Minutenzehnerimpuls wird der Stundenzähler um eine Stunde weitergeschaltet.

Die Stundenzählerimpulse werden zu zwölf oder 24 Stunden aufsummiert und der Stundenzähler nach dem letzten Impuls auf Null gestellt. Die den Zählerstellungen äquivalenten Impulsinformationen werden durch Matrixanordnungen so umgeformt, daß an den zugehörigen Schaltkreisausgängen Impulsinformationen anliegen, die Ziffern aus sieben Segmenten bilden. Bild 3.79 zeigt einen Dekoderschaltkreis, wie er für die Ansteuerung von Flüssigkristallanzeigen verwendet wird.

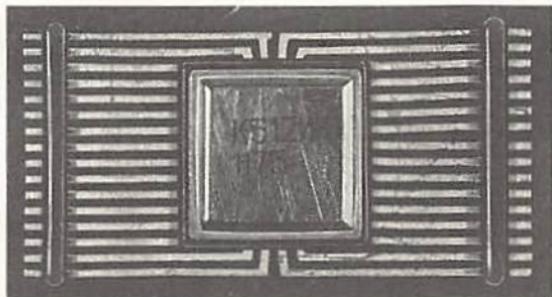


Bild 3.79. Dekoderschaltkreis mit vorgeschaltetem Teilerschaltkreis

3.6. Anzeigemittel elektronischer Uhren

Die Zeitanzeige bei elektronischen Uhren kann durch

- mechanische oder
- elektronische

Mittel erfolgen.

Mechanische Anzeigemittel werden am häufigsten für analoge Zeitanzeigen verwendet.

Elektronische Anzeigemittel verwendet man zur digitalen Zeitanzeige.

Der Einsatz der entsprechenden Anzeigemittel stellt den wirtschaftlichsten Weg der Zeitanzeige dar. Er schließt die Möglichkeit des Einsatzes anderer Anzeigemittel, z. B. elektronischer Anzeigen bei analog anzeigenden Uhren, nicht aus.

3.6.1. Mechanische Anzeigemittel

Mechanische Anzeigemittel sind Getriebe, die elektronisch erzeugte Zeitinformationen durch eine zeitäquivalente Bewegung von Zeigern, Zahlenrollen, Wendeprismen oder Fallplättchen anzeigen.

3.6.1.1. Zeigeranzeigen

Die Zeigeranzeigen elektronischer Uhren unterscheiden sich nicht von den Zeigeranzeigen elektrischer Uhren. Sie werden über Rädergetriebe angetrieben. Das Unter-

setzungsverhältnis entspricht der Drehzahl des elektromechanischen Wandlers. Für elektronische Uhren sind das die Drehzahlen $2/s$, $1/(6\text{ s})$, $1/(60\text{ s})$. Diesen Drehzahlen entsprechend vereinfachen sich die Getriebe. Dadurch erhalten analog anzeigende Uhren, die nur Minuten und Stunden anzeigen, sehr einfache Getriebefolgen (Bild 3.80).

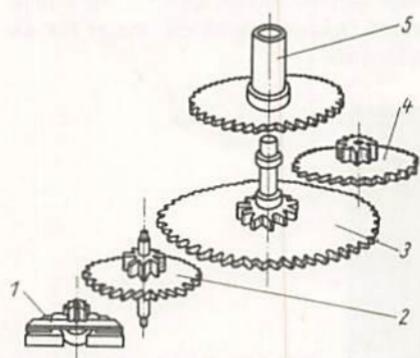


Bild 3.80. Räderwerk einer analogen Quarzuhr mit Minutenwahlgetriebe

1 Motor; 2 Reduktionsrad; 3 Minutenrad; 4 Wechselrad; 5 Stundenrad

3.6.1.2. Digitale mechanische Anzeigen

Digitale mechanische Anzeigen für elektronische Uhren unterscheiden sich nicht von den unter 2.6.2. beschriebenen Ziffernanzeigen für elektrische Uhren.

Als Antrieb für das Ziffernanzeigegerüste werden elektromechanische Wandler in Form von

- Schrittschaltmotoren,
- Synchronmotoren,
- winkelbeweglichen Schrittwandlern

verwendet.

3.6.2. Elektronische Anzeigen

Elektronische Uhren mit elektronischen Anzeigemitteln bezeichnet man auch als vollelektronische Uhren.

Sie enthalten keine mechanischen Bauelemente zur Darstellung der Zeit.

In allen elektronischen Anzeigen werden die physikalischen Effekte der

- Glimmentladung in Gasen,
- Elektrolumineszenz,
- Elektrochromianz,
- lichtemittierenden Halbleiter,
- Flüssigkristallausrichtung im elektrischen Feld

technisch genutzt.

Die Art der Anzeige, die für einen bestimmten Einsatzzweck vorgesehen ist, wird von ihrem Spannungs- und Strombedarf bestimmt.

Alle vollelektronischen Anzeigen, die auf der Grundlage dieser Anzeige aufbauen,

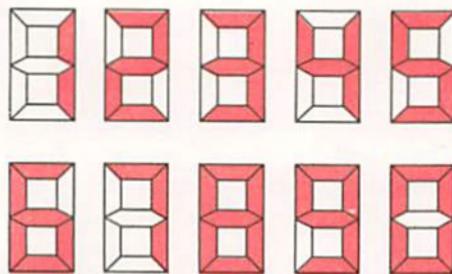


Bild 3.81. Sieben-Segment-Ziffern

verwenden alphanumerische Zeichen, die aus sieben oder aus neun Segmenten zusammengesetzt sind.

In der Uhrentechnik haben sich die Anzeigen durch

- lichtemittierende Dioden (LED-Anzeigen)
- Flüssigkristalle (LCD-Anzeigen)

allgemein eingeführt.

Aus sieben Segmenten lassen sich nur Ziffern bilden. Mit Neun-Segment-Symbolen ist das Darstellen von Ziffern und Buchstaben möglich. Diese Methode wird nicht mehr angewendet. Anstelle dieser Darstellung verwendet man eine Auflösung der Ziffern und Symbole in Rasterpunkte. Eine solche Rasterdarstellung zeigt Bild 3.82.

3.6.2.1. Flüssigkristallanzeigen

Flüssigkristalle sind organische Flüssigkeiten, die in ihren Zwischenphasen (Mesophasen) zwischen dem festen und dem flüssigen Bereich kristalline Eigenschaften aufweisen, die sich durch das Anlegen eines elektrischen Feldes beeinflussen lassen.

Bringt man eine Flüssigkristallsubstanz in ein elektrisches Feld, so ordnen sich die Kristalle in einer dem Feld entsprechenden Richtung. Ordnet man hinter der Substanz einen Spiegel an, so führt beim Anlegen des Feldes die dadurch hervorgerufene Ordnung der Kristalle zu einer Trübung der vorher klaren Flüssigkeit. Es ändern sich die optischen Eigenschaften.

Durch Ausbildung der Feldelektroden in Form von Segmenten kann man die getrübten, milchig weißen Zonen zu Ziffern zusammenfügen. Bild 3.83 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Flüssigkristallzelle mit reflektierendem Aufbau (DSM-Zelle). Wegen der glänzenden Verspiegelung der Zellenrückseite zeigen solche Zellen einen echten Spiegelcharakter, der die Ablesbarkeit stört.

Moderne Flüssigkristallanzeigen enthalten nematische Flüssigkristallsubstanzen, deren Kristallachsen beim Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes sich in Form eines verdrillten Bandes ordnen. Man bezeichnet diesen physikalischen Effekt als Feldeffekt. Da sich beim beschriebenen Feldeffekt die Kristalle in einem verdrillten Band ordnen, nennt man diese Erscheinung auch Twist- oder TN-Effekt.

Bei Feldeffekten handelt es sich um rein dielektrische Vorgänge, bei denen nur die Richtung der Kristalldirektoren verändert wird, aber kein Ladungstransport stattfindet. Deswegen nehmen Flüssigkristallanzeigen des Feldeffekttyps nur ganz geringe Energie mengen auf.

Der Feldeffekt in Flüssigkristallen lässt sich nur durch polarisiertes Licht sichtbar

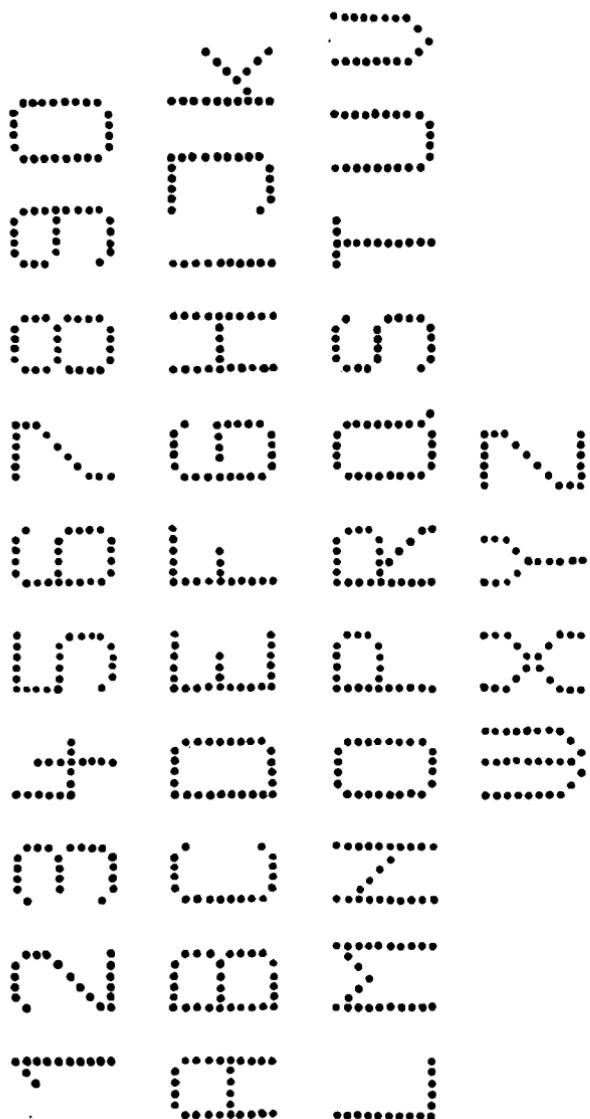


Bild 3.82. Rasterpunktziffern und -buchstaben

machen. Aus diesem Grund haben Flüssigkristallanzeigen einen speziellen konstruktiven Aufbau.

Aufbau von Flüssigkristallanzeigen

Nach Bild 3.84 bestehen Flüssigkristallanzeigen (LCD-Displays) aus zwei Glasplatten hoher Ebenheit. Eine Folie hält die beiden Glasplatten auf einen Abstand von weniger als 10 µm. Die Glasplatten tragen auf den Seiten, die der Flüssigkristallsubstanz zuge-

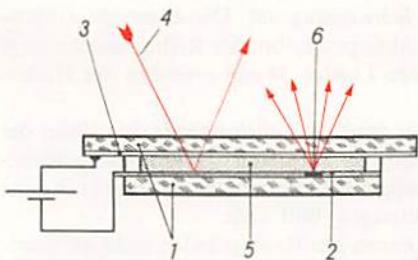


Bild 3.83. Prinzipieller Aufbau einer Flüssigkristallzelle

1 Glasplatte; 2 Spiegelelektrode; 3 durchsichtige Elektrode; 4 Lichteinfall; 5 Flüssigkristallschicht; 6 angeregter Bereich (diffus reflektierend)

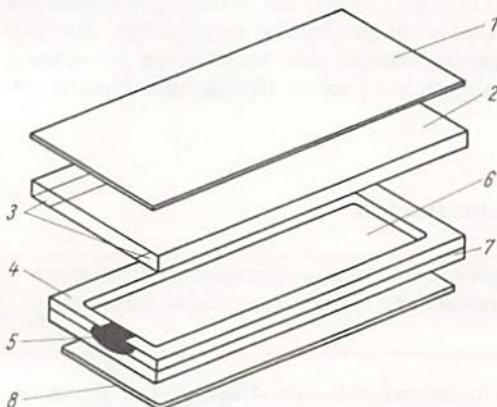


Bild 3.84. Aufbau einer Feldeffekt-Flüssigkristallanzeige

1 Polarisationsfolie; 2 Deckglas mit aufgedampfter Ziffernstruktur; 3 Elektrodenleiste; 4 Abstandsoberfläche; 5 Verschlußstopfen; 6 Flüssigkristallsubstanz; 7 Glas mit Rückelektrode; 8 Polarisationsfolie mit Rückversilberung

kehrt sind, die Elektroden. Die Glasplatte der Betrachterseite hat eine Elektrodenstruktur entsprechend der Ziffernstruktur der gewünschten Anzeige. Die untere Glasplatte trägt eine Elektrodenstruktur, die der Ziffernstruktur als gemeinsame Elektrode entspricht.

Obere und untere Glasplattenoberseite sind mit Polarisationsfolie bedeckt. Sie lässt nur bestimmte Schwingungsrichtungen des einfallenden Lichtes durch die Flüssigkristallsubstanz hindurchtreten. Durch die Kreuzung der beiden Polarisationsfolien tritt für das

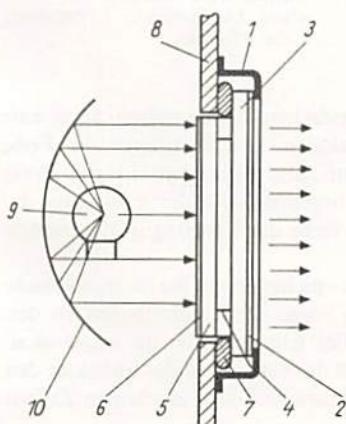


Bild 3.85. Transmissive Flüssigkristallanzeige

1 Halterrahmen; 2 Polarisationsfolie; 3 Glas mit Ziffernstruktur; 4 Flüssigkristallsubstanz mit Abstandsoberfläche; 5 Glas mit Rückelektrode; 6 Polarisationsfolie mit halbdurchlässiger Versilberung; 7 Kontaktgummi; 8 Leiterplatte; 9 Lichtquelle; 10 Hohlspiegel

einfallende Licht im angeregten Bereich eine Schwärzung auf. Die angeregte Ziffernstruktur ist dunkel. Eine auf der Unterseite der Anzeige angebrachte Reflexionsfolie sorgt für eine diffuse Reflexion des hindurchtretenden Lichtes. Damit erscheint der Hintergrund der Flüssigkristallanzeige hellgrau.

Für den Aufbau selbstleuchtender Anzeigen wird die reflektierende Rückfolie der Anzeigeanordnung wie ein halbdurchlässiger Spiegel aufgebaut. Durch Rückseitenbeleuchtung erscheinen die Ziffern schwarz auf hellem Hintergrund. Man bezeichnet diese Anzeigen als transmissive (lichtdurchlässige) Anzeigen (Bild 3.85).

Flüssigkristallanzeigen für Armbanduhren können aus Raumgründen nicht als transmissive Anzeigen aufgebaut werden. Um die Ablesbarkeit auch bei Dunkelheit und Dämmerung zu ermöglichen, beleuchtet man die Displays mit Miniaturglühlampen von der Seite her. Solche Anzeigen sind meist nicht gleichmäßig ausgeleuchtet. Zur Verbesserung der Ablesbarkeit von Flüssigkristallanzeigen auch bei schlechter Beleuchtung des Anzeigefeldes sind Flüssigkristallanzeigen mit passiver Helligkeitsverstärkung entwickelt worden.

3.6.2.2. Helligkeitsverstärkte Flüssigkristallanzeigen

Helligkeitsverstärkte Flüssigkristallanzeigen sind passive Anzeigen, bei denen durch Mittel zum Sammeln des Umgebungslichts eine Verbesserung des Kontrastes eintritt.

Man bezeichnet sie auch als FLAD (Fluoreszenz-Aktiviertes-Display). Der grundsätzliche Aufbau geht aus Bild 3.86 hervor. Es handelt sich um eine Flüssigkristallanzeige der üblichen Bauart als Feldeffekttyp.

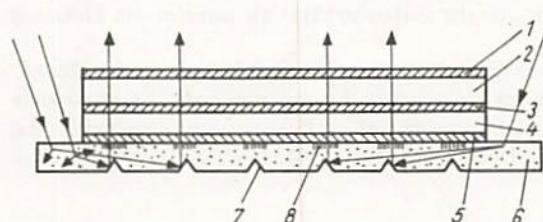


Bild 3.86. Aufbau einer FLAD-Anzeige

1 Polarisationsfilter; 2 Glas mit Ziffernstruktur; 3 Abstandsfolie mit Flüssigkristallsubstanz; 4 Glas mit gemeinsamer Rückelektrode; 5 Polarisationsfilter; 6 Reflektor mit optischem Lichtsampler; 7 Reflektorkerbe; 8 Diffusor

Anstelle des Diffusspiegels liegt auf der vom Betrachter abgewandten Seite eine Spezialfolie mit eingelagerten fluoreszierenden Molekülen. Die Stirnseiten der Folie sind mit einer reflektierenden Schicht bedeckt. Auf ihrer Rückseite ist die Folie eingeklebt und trägt eine Riffelung. Die gegenüberliegende Seite der Folie, die die Rückseite der Polarisationsfolie berührt, trägt an der Stelle der Kerbung lichtstreuende Bereiche, die der Ziffernstruktur zugeordnet sind.

Das Umgebungslicht gelangt von vorn und z. T. auch von hinten auf die fluoreszierende Folie und wird dort absorbiert. Es gelangt auf dem Wege der Totalreflexion zu den Kerben der Folie, wo es nach vorn gelenkt wird. Hier tritt es durch die angeregten, lichtdurchlässigen Segmente wieder nach außen. Durch die Sammlung des Lichts an den Stellen der Ziffernbalken und die Ordnung der Polarisationsebenen erscheinen Ziffern hell auf dunklem Grund.

Auf Grund ihres Aufbaus sind alle Flüssigkristallanzeigen nur deutlich ablesbar, wenn ein bestimmter Betrachtungswinkel eingehalten wird. Ihre Anzeige ist winkel-abhängig. Der Ablesewinkel muß größer als 30° sein.

3.6.2.3. Leuchtdiodenanzeigen

Leuchtdiodenanzeigen sind aktive elektronische Anzeigen, deren Wirkungsweise auf dem Halbleitereffekt aufbaut.

Bei einem Stromfluß in Durchlaßrichtung des pn-Übergangs im Halbleiter bei Rekombination der Ladungsträger entsteht eine Lichtemission. Bild 3.87 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer punktförmigen Leuchtdiode.

Entsprechend der Dotierung des Halbleiterwerkstoffs läßt sich rotes (Galliumarsenid), grünes (Galliumphosphid) und gelbes (Galliumarsenidphosphid) Licht erzeugen.

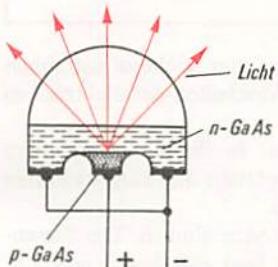


Bild 3.87. Punktformige Leuchtdiode

Da die Halbleiterdioden in Durchlaßrichtung betrieben werden, haben die Dioden einen hohen Strombedarf, der für einzelne Ausführungen bis zu 10 mA beträgt. Die Ansteuerungsspannung ist gering und liegt zwischen $1,6$ und 3 V . Um bei Anzeigen mit 4 Ziffern aus 7 Balken den Strombedarf zu begrenzen, steuert man die Leuchtdiodenanzeigen im Multiplexbetrieb an. Das bedeutet, daß die Ziffern nicht gleichzeitig (Parallelbetrieb), sondern nacheinander (Serienbetrieb) angesteuert werden. Die Folge der Ansteuerung der einzelnen Ziffern wurde so gewählt, daß das Auge die Ziffern als Gruppe empfindet. Auf diesem Weg ist es möglich, den Strombedarf einer Anzeige auf 10 mA zu begrenzen. Trotzdem kann man netzunabhängige Uhren nur durch Abruf der Zeit über einen Abfrageknopf aufbauen, da sonst die verwendeten Primärememente nicht zum Langzeitbetrieb einer elektronischen Uhr ausreichen.

Leuchtdiodenanzeigen gestatten bei normalem Tageslicht ein sicheres Ablesen der Zeit. Bei direkter Sonneneinstrahlung sind sie im Gegensatz zu Flüssigkristallanzeigen

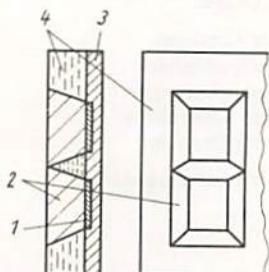


Bild 3.88. LED-Zifferndisplay für Wohnraumuhren

1 Leuchtdiode; 2 Lichtschacht mit Diffusionswirkung; 3 Substratträger für Leuchtdiodenchips; 4 Träger für Lichtschachtsegmente

nicht ablesbar, weil ihre Leuchtkraft zu gering ist. In der Dunkelheit muß durch besondere Einrichtungen ihre Helligkeit gedämpft werden, weil sie auf Grund der Blendung ein Ablesen nicht zulassen.

Bild 3.88 zeigt ein Zifferndisplay für Wohnraumuhren. Um die negativen Eigenarten bei Dunkelheit zu mindern, ordnet man den eigentlichen Strahler in einem Lichtschacht an und bringt durch das Licht ein im Schacht angeordnetes lichtstreuendes Plastiksegment zum Leuchten. Dadurch wird die Zifferngestalt von der eigentlichen Leuchtdiode unabhängig und die Lichtwirkung weicher.

Leuchtdioden für netzunabhängige Uhren haben nur noch geringe Bedeutung, weil die Zeitabfrage in bezug auf die herkömmliche tragbare Uhr kein Vorteil ist.

3.6.2.4. Elektrochromatische Anzeigen

Elektrochromatische Anzeigen sind passive Anzeigen nach dem Prinzip der Lichtabsorption.

Bei ihnen verändern die vom elektrischen Feld angeregten und vom Licht angestrahlten Bereiche ihre Farbe. Der Farbumschlag bleibt nach dem Abschalten des elektrischen Feldes erhalten.

Elektrochromatische Anzeigen basieren auf Metallsalzen. In ihrem Grundaufbau ähneln sie den Flüssigkristallanzeigen. Zwischen zwei Glasplatten mit aufgedampften Elektroden, die durchsichtig sind, befindet sich das Metallsalz.

In ihren elektrischen Eigenschaften sind sie den Leuchtdioden ähnlich. Der Strombedarf beträgt bis 100 mA je Ziffer; die Ansteuerspannung liegt zwischen 1 und 2 V. Die Displays werden mit einer Abdeckung versehen, die nur die Segmentelektroden sichtbar werden läßt.

Wegen ihres hohen Leistungsbedarfs haben Elektrochrominanzeigen noch keine Bedeutung für die Uhrentechnik.

Tafel 3.11. Vor- und Nachteile elektronischer Anzeigen

Anzeigetyp	Vorteile	Nachteile
LCD-Anzeige	passive Anzeige; geringer Leistungsbedarf	winkelabhängiger Kontrast; zu geringer Unterschied zwischen Ziffern und Grund
LED-Anzeige	hoher Kontrast; gute Ablesbarkeit bei Tageslicht	hoher Leistungsbedarf; schlechte Ablesbarkeit bei hellem Sonnenlicht und im Dunkeln
ECD-Anzeige (Elektrochromatische Anzeige)	guter Kontrast; Speichereffekt der Anzeige; winkelunabhängige Ablesmöglichkeit	hoher Leistungsbedarf

Elektronische Anzeigen der beschriebenen Art unterscheiden sich in ihren Eigenschaften. Eine zusammenfassende Übersicht gibt Tafel 3.11.

3.7. Bedienelemente elektronischer Uhren

Elektronische Uhren unterscheiden sich in der Art des Zeitnormals und der Umwandlung der Frequenz des Zeitnormals in eine Zeitinformation von herkömmlichen mechanischen Uhren. Bei analog anzeigenden Uhren verwendet man wegen der Umwandlung der impulsförmigen Zeitinformationen in eine Drehbewegung als Bedienelemente zur Einstellung und Korrektur der Zeitanzeige und des Datums die bekannte Aufzugkrone. Sie ist in bezug auf ihre ursprüngliche Funktion nur noch auf die Aufgaben der Zeigerstellung und der Startfunktion einschließlich der Datumskorrektur festgelegt. Bei vollelektronischen Uhren sind, weil keine mechanischen Glieder zur Zeitanzeige vorkommen, Bedienelemente erforderlich, die einen Eingriff in die elektronische Funktion zulassen. Solche Bedienelemente sind Kontakte und Schalter. Sie sind dem Einsatz in elektronischen Uhren in ihrem konstruktiven Aufbau angepaßt.

3.7.1. Bedienelemente mit galvanischem Verbindungscharakter

Bedienelemente mit galvanischem Verbindungscharakter sind Korrekturereinrichtungen, die durch direkten Eingriff in die elektronische Schaltung mit Schaltern zum Unterbrechen und Öffnen von Verbindungen eine Veränderung der angezeigten Zeitinformation zulassen.

Die Bedienelemente liegen entweder auf dem Schaltungspotential Plus oder Minus und stehen in direkter galvanischer Verbindung mit dem Benutzer. Bild 3.89 zeigt einen einfachen Drucktaster für Uhren mit LCD-Anzeige, bei dem durch Herstellen einer Verbindung zum Potential 0 über den Stöbel ein Umschalten und Weiterschalten

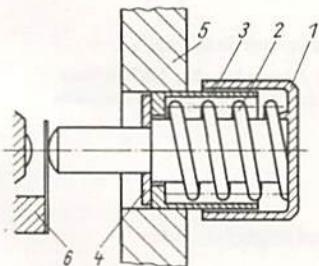


Bild 3.89. Drucktaster für voll-elektronische Uhren

1 Druckkappe mit Bolzen; 2 Druckfeder;
3 Hülse; 4 Schlußscheibe; 5 Gehäuse;
6 Kontakt

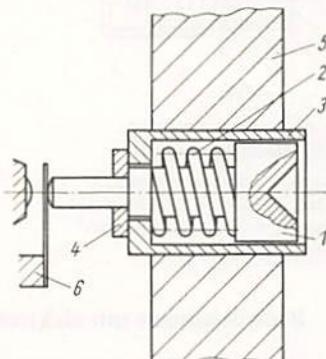


Bild 3.90. Korrekturtaster für voll-elektronische Uhren

1 verdeckter Druckbolzen; 2 Druckfeder; 3 Hülse; 4 Schlußscheibe; 5 Gehäuse; 6 Kontakt

erfolgt. Bedienelemente dieser Art sind sehr einfach in ihrem Aufbau und unempfindlich. Bild 3.90 zeigt einen gleichartigen Taster für die Bedienung im Korrekturfall. Zu seiner Bedienung ist ein spezielles Drückwerkzeug erforderlich (Kugelschreiber o. ä.). Bedienelemente mit direktem galvanischem Verbindungscharakter haben direkte Verbindung zur Gehäuseoberfläche. Sie sind daher den Umwelteinflüssen ausgesetzt und empfindlich gegen Feuchtigkeit, die zu einem Ausfall der Uhr führen kann.

3.7.2. Bedienelemente mit indirektem galvanischem Verbindungscharakter

Bedienelemente mit indirektem galvanischem Verbindungscharakter zeichnen sich dadurch aus, daß keine leitende Verbindung zur Gehäuseoberfläche besteht. Die Bedienperson hat keine leitende Verbindung zum Elektronikteil der Uhr.

Sie haben eine hohe Funktionssicherheit. Bild 3.91 zeigt einen Einstelldrücker, der durch einen Dauermagneten einen Schutzrohrkontakt schaltet. Diese Anordnung ist außerordentlich zuverlässig und hat eine hohe Lebensdauer. Bild 3.92 zeigt einen Schalter mit einer sog. Schaltmatte. Die Schaltmatte besteht aus leitendem Elastomer. Beim Betätigen des Schalters wird der Gummihohlzylinder durchgedrückt und schließt die darunterliegenden Leiterbahnen kurz. Da die Gummimatte und die leitende Kontaktstrecke einen hohen Widerstand haben, sind Schaltkontakte mit Schaltmatten nur für elektronische Schaltungen mit hohem Innenwiderstand (mehrere Megaohm) nutzbar.

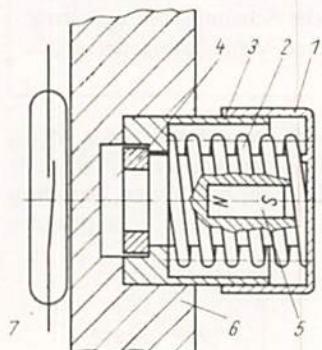


Bild 3.91. Einstelltaster mit indirektem Verbindungscharakter

- 1 Druckkappe mit Führungsbolzen;
- 2 Druckfeder;
- 3 Hülse;
- 4 Schlußscheibe;
- 5 Dauermagnet;
- 6 Gehäuse;
- 7 gekapselter Kontakt (Reed-Kontakt)

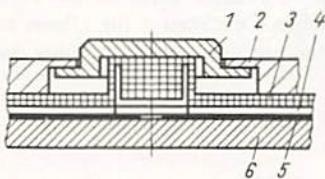


Bild 3.92. Taster mit Schaltmatte

- 1 Drucktaste;
- 2 Abdeckmaske;
- 3 Schaltmatte;
- 4 Isolationsfolie;
- 5 Leiterzüge;
- 6 Leiterplatte

3.7.3. Bedienelemente mit elektronischem Verbindungscharakter

Bedienelemente mit elektronischem Verbindungscharakter sind elektronische Berührungsschalter, bei denen durch Überbrücken eines offenen Stromkreises mit dem Hautwiderstand eines Fingers ein Schaltvorgang durch Erzeugen einer Impulsflanke entsteht.

Die Funktion eines solchen Schalters ergibt sich aus der Tatsache, daß beim Kurzschließen einer Spannung ein Spannungssprung entsteht. Diese Spannungsänderung führt zu einem Impuls, dessen Flanke ausreicht, um einen elektronischen Schalter (Flipflop) umzuschalten (Bild 3.93).

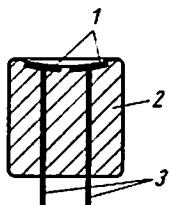


Bild 3.93. Berührungstaster

1 Elektroden; 2 Isolationswerkstoff des Tasters; 3 Elektrodenanschlüsse

Diese Schalter, die man auch als Sensoren bezeichnet, arbeiten sehr zuverlässig. Gegen unbeabsichtigtes Berühren sind sie jedoch empfindlich. Sie sind darum nur für Wohnraumuhrn geeignet und werden bei Nichtbenutzung durch eine Blende verdeckt. Tafel 3.12 zeigt eine Zusammenfassung der Eigenschaften verschiedener Bedienelemente für elektronische Uhren.

Tafel 3.12. Vor- und Nachteile der Bedienelemente

Bedienelement	Vorteile	Nachteile
Direkte galvanische Verbindung	einfacher Aufbau; billige Lösung; leicht instandsetzbar	schmutz- und feuchteempfindlich; hoher Verschleiß
Indirekte galvanische Verbindung	sicher und zuverlässig; lange Lebensdauer	meist teuer und aufwendig; schwer instandsetzbar
Elektronische Verbindung	zuverlässig; lange Lebensdauer; kein Verschleiß	aufwendig und teuer; feuchteempfindlich; nicht einfach instandsetzbar; empfindlich gegen zufälliges Berühren

4. Signaleinrichtungen

4.1. Wirkungsweise elektrischer und elektronischer Schallquellen

Signaleinrichtungen elektronischer Uhren sind Zusatzeinrichtungen, die einen Weckton, einen Gongschlag oder eine Gongmelodie erzeugen.

Der Zeitpunkt zum Auslösen des Signals kann vom Benutzer entweder beliebig (Wecker) programmiert werden, oder er ist durch eine feste Programmierung (Gongschlaguhr) vorgegeben.

Die Programmierereinrichtungen können entweder mechanische oder elektronische Programmträger sein. Die Tonerzeuger oder Schallquellen sind mechanischer oder elektronischer Art.

Elektrische oder elektronische Schallquellen sind Einrichtungen, die einen Weckton, einen Gongschlag oder eine Gongmelodie erzeugen. Durch mechanische Mittel werden Glocken, Membranen oder Stäbe zum Schwingen angeregt (elektromechanische Schallquelle). In diesem Sinne sind elektrische Signaleinrichtungen elektroakustische Schwingungs erzeuger.

4.1.1. Elektromechanische Schallquellen

Der einfachste elektromechanische Schwingungserzeuger ist der Wagnersche Hammer. Er besteht aus einem Elektromagneten, einem Joch und einem federnd am Joch befestigten Anker. Am Anker ist ein Kontakt angebracht, der in seiner Ruhelage geschlossen ist. Wird eine Spannung an den Elektromagneten gelegt, so wird der Anker angezogen und der Kontakt geöffnet. Da in diesem Augenblick das Magnetfeld des Elektromagneten zusammenbricht, schwingt der Anker zurück, und der Stromkreis wird wieder geschlossen. Der Anker gerät in eine Schwingbewegung. Die Frequenz des Schwingers ist von der Federkonstante der Ankerfeder und dem Massenträgheitsmoment des Ankers abhängig. Zur Erzeugung eines Signaltons wird über dem Anker eine Membran angebracht, die durch den Anker angestoßen und zu Schwingungen angeregt wird (Bild 4.1).

Ist der Anker als Klöppel ausgebildet und wird durch diesen eine Glocke angeschlagen, erhält man eine elektrische Klingel (Bild 4.2).

Eine übliche Methode zur Verstärkung der Lautstärke des schwingenden Ankers ist die Montage des gesamten Systems auf einer Platte oder am Gehäuse einer Weckuhr. Die Platte oder die Gehäusewand wird zu Schwingungen angeregt. Diese Methode zur Erzeugung eines Summtons zeichnet sich dadurch aus, daß die Schwingung weitgehend ungestört ist und ein klirrfreier Ton entsteht (Bild 4.3).

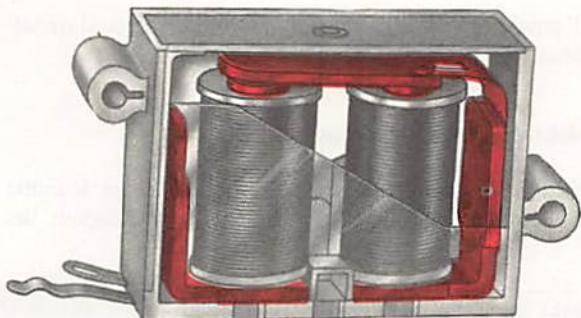


Bild 4.1. Elektromechanischer Membransummer

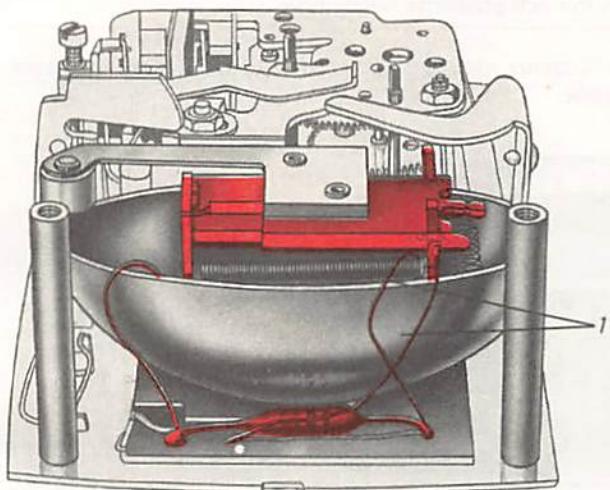


Bild 4.2. Elektrische Klingel als Weckersignalgeber
1 Signaleinrichtung

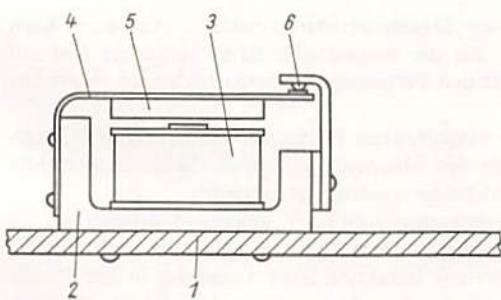


Bild 4.3. Summer auf einer mit schwingenden Platte
1 Platte (Gehäusewand); 2 Summerjoch; 3 Spule; 4 Feder; 5 Anker; 6 Kontakt

Die Lautstärke der Signaleinrichtungen aller Typen ist von der Stärke des elektromagnetischen Feldes und die auf den Anker wirkende Anziehungskraft abhängig.

Da alle Summe mit einer Arbeitsspannung von 1,5 V arbeiten, besteht nur die Möglichkeit, sie entweder durch Erhöhen des Stroms oder durch Vergrößern der Windungszahl auf die gleiche Anziehungskraft zu bringen. Während bei einem höheren Strom die Kontaktbelastung steigt, ist bei Summen mit großer Windungszahl der

Strombedarf geringer, und der Kontakt erreicht eine längere Lebensdauer. Der Materialaufwand für diese Lösung ist höher.

4.1.2. Schallquellen mit elektronischer Steuerung

Elektromechanische Schallquellen sind wegen ihrer Steuerung durch einen Kontakt störfällig. Ihre Lebensdauer ist begrenzt und wird von der Zuverlässigkeit des Steuerkontakte bestimmt.

Ersetzt man den Steuerkontakt durch einen elektronischen Schalter oder steuert man den Elektromagneten direkt durch einen elektronisch erzeugten Wechselstrom an, so erhält man eine elektronisch gesteuerte Schallquelle.

Ein elektronisch gesteuerter Summer, dessen Funktion auf einem Transistorschalter beruht, ist im Bild 4.4 dargestellt.

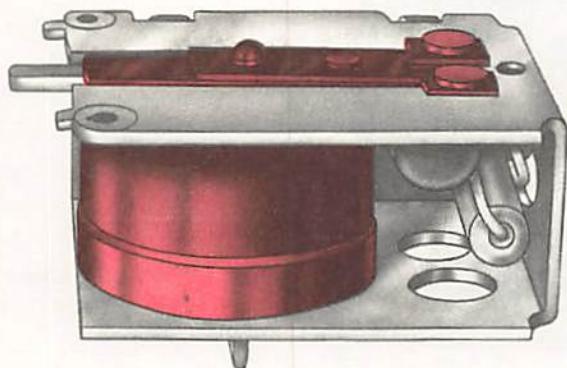


Bild 4.4. Transistorgesteuerter Summer

Der Elektromagnet wird durch einen Dauermagneten verstärkt. Auf dem Kern des Elektromagneten sitzt eine Spule, die die magnetische Kraft verändert und auf einen den magnetischen Rückschluß für den Permanentmagneten bildenden federnden Anker einwirkt.

Eine zweite Spule ist außerhalb des magnetischen Feldes des Dauermagneten angeordnet und nur lose mit der Feldspule des Magneten gekoppelt. Beide Spulenfelder sind durch eine ferromagnetische Trennscheibe voneinander getrennt.

Wird an die Schaltung eine Gleichspannung von 1,5 V gelegt, so arbeitet sie als Sperrschwinger. Dabei fließt der Kollektorreststrom über die Feldspule und baut ein elektromagnetisches Feld auf. Das führt zur Induktion einer Spannung in der Steuerspule, deren Richtung der Sperrspannung des Transistors entgegengesetzt ist. Dadurch öffnet der Transistor und wird sprunghaft bis zur Sättigung durchgesteuert.

Beim Erreichen des Sättigungsstroms tritt keine Feldänderung mehr ein; in der Steuerspule wird keine Spannung induziert, der Transistor sperrt. Durch den nunmehr wieder fließenden Transistorreststrom wiederholt sich der Vorgang ständig, und es entsteht eine Schwingfrequenz, die Sperrschwingfrequenz. Sie bewirkt eine Anregung des zungenförmigen Ankers, der seinerseits die Induktionswerte im Luftspalt so verändert, daß durch seine Wirkung in der Steuerspule eine Spannung induziert wird, die ein

Öffnen und Schließen des Transistors im Takt der Resonanzfrequenz des federnden Ankers hervorruft. Die Anordnung arbeitet im Schalterbetrieb.

Wickelt man die beiden Spulen übereinander, so erhält man eine sehr feste Kopplung mit einem einfachen Schaltungsaufbau. Er ist gegen Temperatureinflüsse empfindlicher. Die schwingende Zunge schlägt gegen eine Flachmembran und regt diese zum Mitschwingen an.

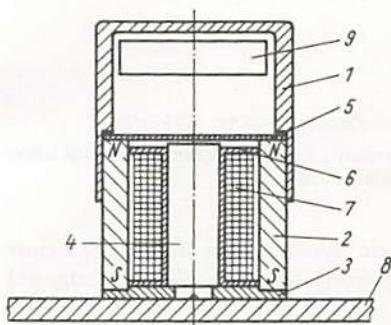


Bild 4.5. Transistorgesteuerter Summer nach dem Kopfhörerprinzip

1 Helmholtz-Resonator; 2 Dauermagnet; 3 Schlußscheibe; 4 Magnetkern; 5 Membran; 6 Spulenkörper; 7 Spule; 8 Leiterplatte; 9 Schallöffnung

Anstelle der schwingenden Zunge kann man den magnetischen Kreis auch durch eine ferromagnetische Flachmembran teilweise schließen und diese zum Mitschwingen anregen. Um eine genügend große Lautstärke zu erzielen, ist ein Helmholtz-Resonator erforderlich. Bild 4.5 zeigt eine solche Anordnung, die sich durch einfachen Aufbau und sichere Funktion auszeichnet. Verzichtet man auf den feldverstärkenden Dauermagneten und die schwingende Zunge oder Membran, dann arbeitet die Schaltung als Sperrschwinger, ohne in den Schalterbetrieb überzugehen. Diese Frequenz kann mittels eines Kleinlautsprechers nach Bild 4.6 hörbar gemacht werden.

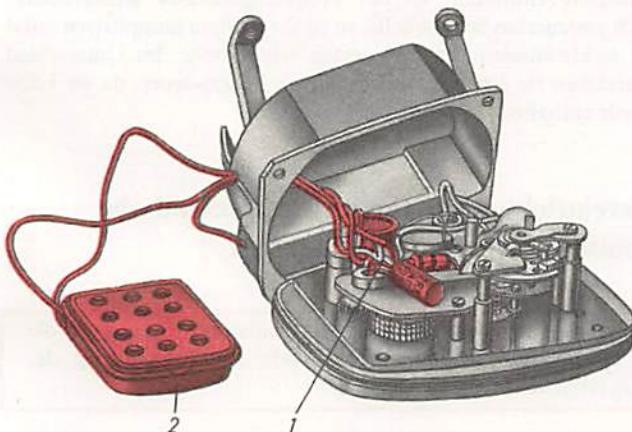


Bild 4.6. Schaltungsanordnung für einen Kleinlautsprecher
1 Sperrschwingeranordnung; 2 Schallstrahler

Noch einfache Lösungen ergeben sich, wenn man die Anregungsfrequenz direkt von der Quarzfrequenz ableitet, indem man die Frequenz nach einer bestimmten Teilerstufe entnimmt und sie durch eine Leistungsstufe verstärkt. Üblich sind die Frequenzen 2048 Hz, 1024 Hz und 512 Hz. Man benötigt nur noch eine Spule nach Bild 4.5 oder einen Kleinlautsprecher.

Andere Lösungen verwenden einen piezokeramischen Schwinger aus Bariumtitannat, der durch die aus dem Quarz abgeleitete Schwingerfrequenz zum Mitschwingen in seiner Resonanzfrequenz angeregt wird (Bild 4.7).

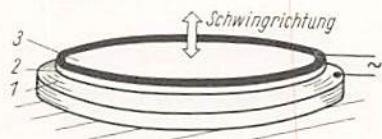


Bild 4.7. Piezokeramischer Schwinger

1 Trägerplatte; 2 Piezoschwinger; 3 obere und untere Schwingerelektrode

Eine sehr einfache Lösung ergibt sich, wenn ein Summer nach Bild 4.3 mit einer Impulsfrequenz aus der Frequenzteilerschaltung gespeist und seine federnde Zunge auf diese Frequenz abgeglichen wird.

Mit elektronisch gesteuerten Schallquellen lassen sich verschiedene Tonfrequenzen erzeugen, wenn man zu ihrer Ansteuerung unterschiedliche Frequenzen aus dem Teilerschaltkreis ableitet oder diese Frequenzen durch spezielle Frequenzgeneratoren erzeugt. Die Wiedergabe der Tonfrequenzen über einen Lautsprecher übernimmt in diesem Fall ein elektronischer Programmgeber, der die entsprechenden Teilerstufen zum Lautsprecher leitet. Auf diese Weise lassen sich elektronisch Gongschlageffekte erzeugen.

Gleicht man elektronisch gesteuerte Schallquellen, die nur eine Frequenz abstrahlen sollen, auf diese Frequenz ab, so lassen sie sich in ihrem Wirkungsgrad optimieren. Sie erzeugen dann bei geringstmöglicher Energieaufnahme die größte Lautstärke.

Elektronisch gesteuerte Schallquellen zeichnen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. Sie haben einen einfachen Aufbau, wenn man ihre Steuerfrequenz einer elektronischen Frequenzteilerschaltung entnimmt. Ist der Frequenzgenerator unmittelbarer Bestandteil der elektronisch gesteuerten Schallquelle, so ist ihr Aufbau komplizierter und aufwendiger als bei einer elektromechanisch gesteuerten Schallquelle. Im Unterschied zu diesen Schallquellen erreichen sie eine wesentlich längere Lebensdauer, da sie keine mechanischen Verschleißteile enthalten.

4.2. Programmierereinrichtungen für elektromechanische oder elektronisch gesteuerte Schallquellen

Programmierereinrichtungen sind mechanische oder elektronische Steuerungen, die durch Kontakte oder elektronische Schalter Strompfade zur Ansteuerung der Schallquelle zeitabhängig schließen.

Ist die Zeit zur Herstellung der Strompfade beliebig wählbar, bezeichnet man das als flexible Programmierung. Ordnet man die Zeit des Einschaltens stets gleichbleibenden Zeitpunkten zu, so ist die Programmierung starr.

Eine flexible Programmierung haben alle Wecker und Terminuhren. Ihre Weck- oder Alarmzeit ist innerhalb eines kleinsten Zeitintervalls frei wählbar. Gongschlaguhren sind starr programmiert.

4.2.1. Elektromechanische Steuerungen

Mechanische Programmierereinrichtungen sind sog. Weckerauslösungen oder Programmwalzen, die nur durch einen Kontakt oder mehrere Kontakte eine Schallquelle ein- oder ausschalten.

Sie werden im allgemeinen vom Stundenrad zeitgesteuert. Ihre zeitäquivalente Steuerung wird vom Zeigerwerk abgeleitet.

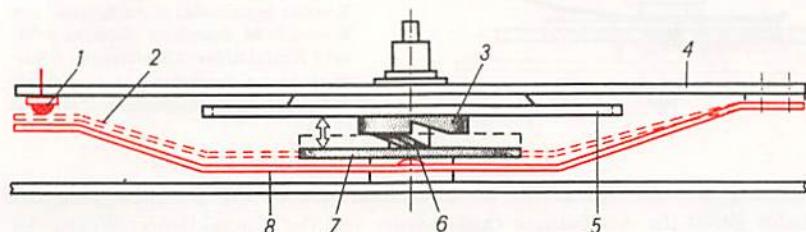


Bild 4.8. Einfache Programmierereinrichtung

1 Gegenkontakt; 2 ausgelöste Stellung; 3 Einstellfutter mit Auslösekerbe; 4 Werkträger; 5 Einstellrad; 6 Auslösenase; 7 Stundenrad; 8 Kontaktfeder

Eine einfache Ausführung einer Programmierereinrichtung zeigt Bild 4.8. Sie ist vom mechanischen Wecker abgeleitet. Das gesamte Werk liegt an negativem Potential. Der positive Gegenkontakt ist vom Werk isoliert. Er leitet den Strom über eine Stromschiene zur Schallquelle. Das Einstellrad hat ein Einstellfutter mit einer Auslösekerbe. Erreicht das Stundenrad bei seiner Drehbewegung die Auslösekerbe, rastet es mit seiner Auslösenase in die Kerbe des Futters ein, und die Auslöse- oder Kontaktfeder schließt durch ihr Aufschlagen auf den Gegenkontakt den Stromkreis.

Diese Lösung hat den Vorteil, daß der Kontakt sprunghaft geschlossen wird und ein genügend großer Kontaktdruck auftritt. Nachteile dieser Anordnung sind die lange Einschaltzeit und das langsame Lösen des Kontakts. Beim Öffnen des Stromkreises liegen sich die beiden spannungsführenden Teile mit sehr kleinem Abstand gegenüber. Dabei können sich Kriechstromstrecken oder ionisierte Luftstrecken bilden, die Anlaß zu einer Wanderung von Kontaktwerkstoff und zu einem frühzeitigen Kontaktverschleiß sein können. Durch die lange Einschaltzeit wird die Spannungsquelle lange belastet, wenn die Stromverbindung vom Benutzer nicht unterbrochen wird. Eine Programmierereinrichtung, die diese Nachteile nicht aufweist, ist im Bild 4.9 dargestellt. Sie zeichnet sich durch eine Begrenzung der Einschaltzeit aus.

Das Typische dieser Lösung besteht darin, daß die Auslösenase des Stundenrades bei ihrem Einfallen in die Aussparung des Einstellrades auf eine Kontaktfeder drückt, deren Führungslänge kürzer als die Aussparung im Einstellrad ist. Der Kontakt wird sofort beim Einfallen der Auslösenase in die Aussparung des Einstellrades geschlossen, indem die Auslösenase auf die Oberfläche der Kontaktfeder drückt. Diese Führungsläche ist

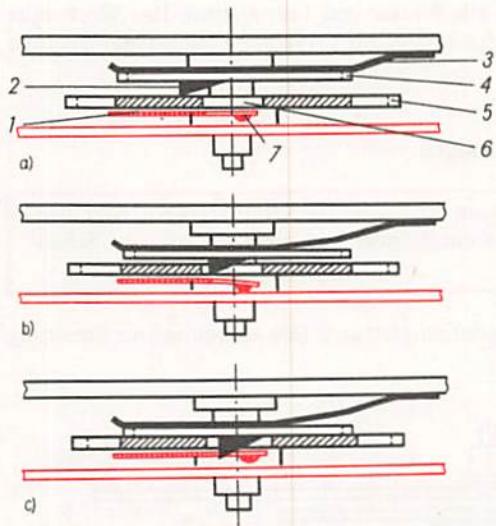


Bild 4.9. Programmiereinrichtung mit begrenzter Einschaltzeit

a) gesperrte Stellung; b) Auslösestellung, Kontakt geschlossen; c) Auslösenase von Kontaktfeder abgegliitten, Kontakt geöffnet 1 Kontaktfeder; 2 Auslösenase; 3 Aussparung für Auslösenase; 4 Stufenrad; 5 Einstellrad; 6 Aussparung für Auslösenase; 7 Kontakt

nur $\frac{1}{5}$ so lang wie der Ausschnitt im Einstellrad. Durch die Drehbewegung des Stufenrades gleitet die Auslösenase rasch wieder von der Kontaktfeder. Wegen der Relativbewegung der Kontakte zueinander tritt zusätzlich eine Reinigung der Kontaktflächen durch Reibung ein.

Die Anordnung hat den Nachteil des relativ hohen Fertigungsaufwandes und, wie bei allen Auslöseeinrichtungen dieser Art, der Axialbewegung des Stundenzigers. Eine Programmier- oder Auslöseeinrichtung ohne eine Axialbewegung der Zeiger ist im Bild 4.10 dargestellt.

Diese Lösung setzt voraus, daß das Stufenrad gleichzeitig Kontaktrad ist. Das Einstellrad ist spannungsführend und hat eine schleifende Verbindung zum Uhrengehäuse. Die Länge des Kontaktstücks im Stufenrad, das aus nichtleitendem Werkstoff hergestellt sein muß, bestimmt die Einschaltzeit des Stromkreises. Üblich sind Einschaltzeiten von 5 bis 10 min.

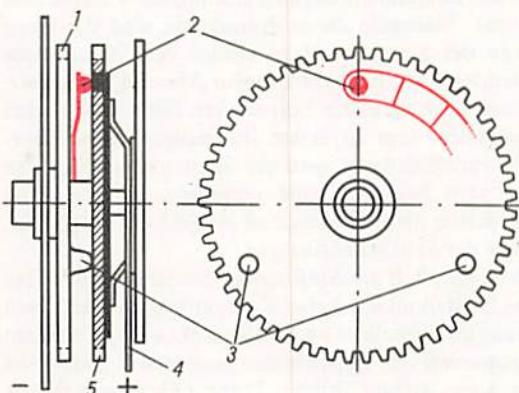


Bild 4.10. Programmiereinrichtung mit Schleifkontakt

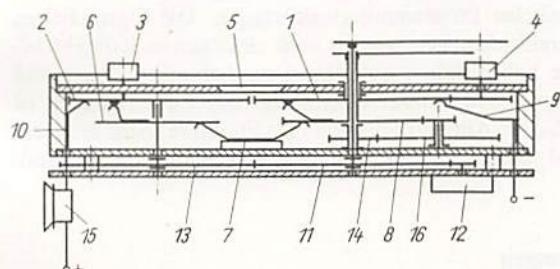
1 Einstellrad; 2 Kontaktfeder; 3 Stützwarze; 4 Schleiffeder; 5 Stufenrad mit Kontakt

Diese Programmierungseinrichtung hat den Vorteil einer sehr kurzen Einschaltzeit. Nachteilig ist die schlechende Kontaktgabe, die bei hoher Kontaktbelastung zu unterbrochenem Einschalten und Ausschalten des Stromkreises und zu Einbrenn-erscheinungen an den Kontakten führt. Ihr Aufbau ist einfach und erfordert keinen großen Aufwand.

Einschaltgenauigkeit. Alle beschriebenen Lösungen leiten den Einschaltvorgang vom Stundenrad ab. Gleichzeitig wird die Zeit durch einen „Weckzeiger“ vom Benutzer eingestellt. Auf einem Zifferblatt entsprechen dem Zeitbereich einer Stunde 30 Bogen-grade.

Um eine Einschaltgenauigkeit von 1 min zu erreichen, muß der Weckzeiger auf 0,5 Bogengrad genau eingestellt werden. Außerdem dürfen in der Getriebekette vom Minuten- zum Stundenrad keine Teilungsfehler auftreten, die zu einer schwankenden Stundenradbewegung führen. Man gibt deshalb die Einschaltgenauigkeit mit einer Toleranz von ± 5 min an und berücksichtigt dabei die Einstellfehler durch den Benutzer. Bezieht man die Einstellgenauigkeit auf 24 h und ein Zifferblatt mit einer 360° -Teilung, so verdoppelt sich die Einschalt-Ungenauigkeit.

Minutengenaue Einschaltzeiten lassen sich erreichen, wenn man die Kontaktstrecke auf das Stunden- und Minutenrad aufteilt. Das Stundenrad muß eine Vorbereitungsfunktion übernehmen, während das Minutenrad die Einschaltfunktion übernimmt. Diese Lösungen werden mechanisch sehr aufwendig und verlangen eine gleichzeitige Anzeige von Stunden und Minuten des Einschaltaugenblicks. Bild 4.11 zeigt die prinzipielle Ausführung einer solchen Lösung. Durch die Zweiteilung der Kontaktstrecke werden solche Lösungen unzuverlässiger, weil die Anzahl der möglichen Störquellen steigt.



1 Stundeneinstellrad; 2 Minuten-einstellrad; 3 Minuten-einstellknopf; 4 Stundeneinstellknopf; 5 Sichtfenster für die Weckzeit; 6 Minuten-schaltrad; 7 Stromleiterbrücke; 8 Stundenrad und Schaltrad; 9 Stromleiterfeder 1; 10 Stromleiterfeder 2; 11 Minutenrad; 12 Schrittmotor; 13 Minutenübertragungsrad; 14 Viertelrad; 15 Schallquelle; 16 Wechselrad

Bild 4.11. Programmierungseinrichtung mit gleitendem Repetierkontakt

Repetiereinrichtungen

Repetiereinrichtungen wiederholen das Wecksignal nach einem starren Programm, dessen Ablauf nur gestoppt aber nicht verändert werden kann.

Bei elektromechanischen Repetiereinrichtungen wird der Repetievorgang von einer Programmwalze gesteuert.

In diesem Fall ist einem Rad des Uhrwerks die Programmwalze zugeordnet, dessen Repetierkontakte durch die Drehbewegung des Rades den Stromkreis im Rhythmus der Drehbewegung öffnen und schließen. Das Repetierrad kann auch durch einen speziellen Repetiermotor angetrieben werden.

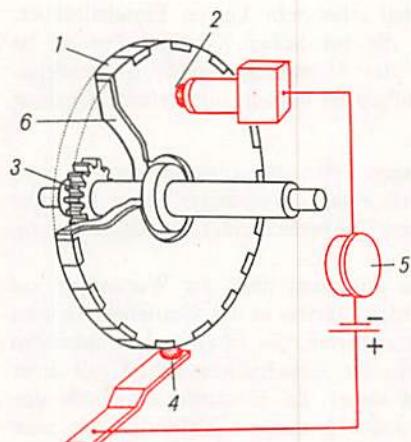


Bild 4.12. Programmreinrichtung mit gleitendem Repetierkontakt

1 Repetierkontakt; 2 Schleifkontakt; 3 Trieb; 4 Gegenkontakt; 5 Summer; 6 Repetierrad

Bild 4.12 zeigt das Ausführungsbeispiel einer Repetiereinrichtung mit gleitendem Repetierkontakt. Das Repetierrad ist einseitig elektrisch leitend. Die Spannung wird über einen Schleifkontakt zugeführt. Das Repetierrad wird durch einen Trieb angetrieben. Die rhythmische Unterbrechung des Stromkreises erfolgt während der Drehbewegung des Rades durch den Repetierkontakt.

Eine weitere Möglichkeit, einen Repetiereffekt zu erzeugen, besteht darin, das Programmrad mit Nocken zu versehen. Die Nocken betätigen einen Kontakt, der den Stromkreis öffnet und schließt. Diese Anordnung hat den Nachteil, daß das Lastmoment am Programmrad schwankt und ein erhöhtes Antriebsmoment erforderlich ist.

Vor- und Nachteile elektromechanischer Programmreinrichtungen. Die Eigenschaften elektromechanischer Programmreinrichtungen werden vom elektrischen Kontakt bestimmt. Sie haben eine begrenzte Lebensdauer, unterliegen mechanischem Verschleiß und Einflüssen von korrodierenden Gasen in ihrer Umgebung. Ihre Zuverlässigkeit ist darum begrenzt. Wegen ihres einfachen Aufbaus läßt sich ihre Funktion leicht erfassen. Sie sind reparaturfreundlich und lassen sich ohne hohen Kostenaufwand instandsetzen.

4.2.2. Elektronische Steuerungen

Elektronische Steuerungen sind Programmreinrichtungen mit flexibler oder starrer Programmierung zum Auslösen eines Alarmsignals, eines zeitlich begrenzt ablaufenden Vorgangs oder eines Repetievorgangs.

Die Programmierung erfolgt durch elektrische Impulse, die in elektronischen Speichern abgespeichert werden. Sie werden vom Benutzer durch Tastendruck vorgegeben und im elektronischen Speicher mit den Impulsen verglichen, die vom Dekoderschaltkreis oder von anderen elektronischen Informationsquellen geliefert werden. Im Augenblick der Übereinstimmung von Speicherinhalt und ankommender Information wird ein Start- oder Befehlsimpuls ausgelöst.

Als elektronische Speicher verwendet man Flipflop-Schaltungen, die in Schaltkreisen integriert sind. In starren elektronischen Speichern sind die entsprechenden Befehlsinformationen fest eingeschrieben. Dieser Einschreibeprozess wird bei der Herstellung des Schaltkreises vollzogen, er ist Bestandteil des Schaltkreisentwurfs.

Starre Programme lassen sich in den Speichern nicht löschen. Man verwendet sie für die Programmierung von Repetiersignalen, Gongschlagfolgen, Kalendertagen, Monatslängen, Schaltfolgen, Stoppprogrammen und Terminfolgen fester Sequenz. Flexible Programmierungen lassen sich durch den Benutzer löschen.

In Form von flexiblen Programmen lassen sich Weckzeiten, Termine und Ablaufzeiten speichern. Sie werden vom Benutzer in den Speicher eingeschrieben. Der Löschtorgang durch Nullstellen (Reset) der Speicherzellen wird im allgemeinen durch Abstellen des Alarmsignals, das beim Eintreten der Übereinstimmung von Soll- und Istinformation ausgelöst wird, bewerkstelligt. Erfolgt die Abstellung nicht, so wiederholt sich der Auslösevorgang nach 24 Stunden, weil zu diesem Zeitpunkt wiederum die nächste Übereinstimmung (Koinzidenz) der Impulsfolgen eintritt.

Auf Grund ihrer Funktion arbeiten elektronische Speichereinrichtungen und Programmierschaltungen so genau wie das Frequenznormal der Uhr. Das Auslösen eines Alarmsignals erfolgt wenigstens mit Sekundengenauigkeit. Die Dauer zeitlich vorprogrammierter Vorgänge ist ebenfalls sekundengenau. Wählt man als Zeitbasis die Hundertstelsekunde, so lassen sich Zeitprogramme mit dieser Genauigkeit verwirklichen und steuern. Mit dieser Zeiteinheit werden elektronische Stoppuhren und ihre Programmspeicher gesteuert.

Einschaltgenauigkeit. Die Einschaltgenauigkeit elektronischer Auslöseeinrichtungen ist vom Benutzer unabhängig und hängt nur von der Genauigkeit des Zeitnormals ab. Sie entspricht genau der einprogrammierten Auslösezeit. Die Herstellung dieser Genauigkeit ist nicht mit einem erhöhten technischen Aufwand verbunden.

Vor- und Nachteile elektronischer Programmierereinrichtungen. Elektronische Programmierereinrichtungen arbeiten außerordentlich zuverlässig. Ihre sichere Funktion ist von der Zuverlässigkeit ihrer Einstellelemente abhängig. Elektronische Fehler, die durch den Durchbruch von Isolationsstrecken im Schaltkreis entstehen, sind nicht reparierbar. Fehlerhafte Speicherschaltungen müssen ausgewechselt werden. Die Bedienelemente sind in den meisten Fällen zu reparieren.

5. Zusatzeinrichtungen elektronischer Uhren

Zusatzeinrichtungen elektronischer Uhren sind gebrauchswerterhöhende Sonderausstattungen, deren Funktion aus dem Zeitnormal abgeleitet wird.

Integrierte elektronische Schaltungen können auf Grund ihrer Fähigkeit, elektronische Informationen zu speichern und bestimmte, in ihrem Entwurf eingearbeitete Programmfolgen laufend zu wiederholen, als Zusatzeinrichtungen elektronischer Uhren eingesetzt werden. Dadurch läßt sich der Gebrauchswert der Uhren steigern, ohne daß großer mechanischer Mehraufwand bei ihrer Realisierung auftritt. Solche Zusatzeinrichtungen sind:

- die elektronische Zeitkorrektur
- die Abfrage einer zweiten Ortszeit
- die elektronische Startfixierung
- die Einspeicherung eines Jahreskalenders
- die Einspeicherung einer Monats- und Wochentagfolge
- die Einspeicherung bestimmter Stoppuhrrprogramme
- die Einspeicherung bestimmter fester Jahrestermine
- die Einspeicherung frei wählbarer Termine in Abhängigkeit von der Speicherkapazität.

Der Taktgeber für die Steuerung der elektronischen Speicher und die Programmfolgen ist das Zeitnormal der elektronischen Uhr, der Quarz, oder ein anderer elektronischer Schwinger.

5.1. Zeigerschnellkorrekturschaltungen

Analog anzeigende elektrische Uhren werden meist mit mechanischen Mitteln zur Korrektur der Zeitanzeige und der Zeigerstellung versehen. Die dazu notwendigen Bauteile sind von der mechanischen Uhr übernommen. Für einen zeitzeichengenauen Start ist es notwendig, auch die Sekunde auf Null zu stellen. Das erfordert einen erheblichen mechanischen Aufwand. Dieser Aufwand läßt sich durch Zeigerschnellkorrekturschaltungen verringern.

Zeigerschnellkorrekturschaltungen sind elektronische Steuerungen in analog anzeigenden elektronischen Uhren, die durch Zuführen einer höheren Schaltfrequenz zum Schrittschaltmotor ein rasches Verstellen der Anzeige ermöglichen.

Ihre Funktion beruht darauf, daß bei der Zeigerkorrektur über einen Schalter mehrere Teilerstufen überbrückt werden und dem Schrittschaltmotor dadurch eine höhere

Schaltfrequenz zugeführt wird. Durch den sich schneller drehenden Schrittschaltmotor laufen Stunden- und Minutenanzeiger schneller um. Hebt man die Überbrückung wieder auf, so ist die Zeigerbewegung wieder sekundengenau.

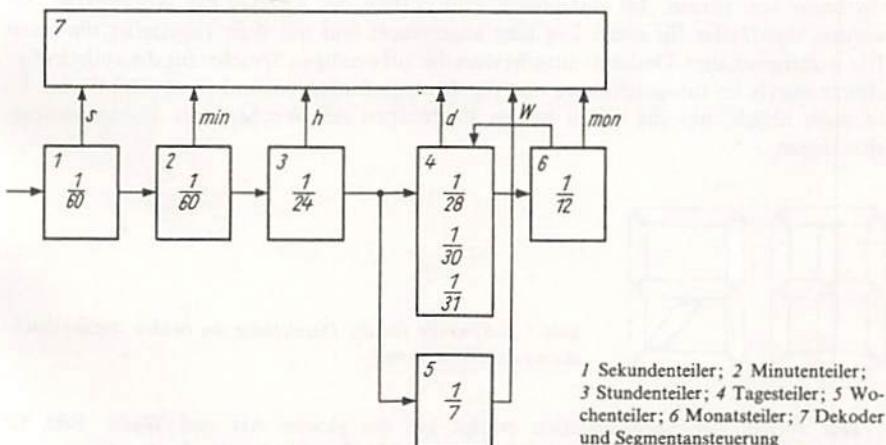
Durch entsprechende Programmierung des Schaltkreises ist es möglich, die Zeigerschnellkorrektur so aufzubauen, daß nach Abschluß der Überbrückung die Zeigerbewegung nicht fortgesetzt wird und die Uhr im Zustand der Startbereitschaft verharrt. Der Oszillator der Uhr arbeitet weiter, während die Teilerstufen durch eine spezielle Programmierung ständig auf Null zurückgestellt werden (Reset). Erst durch Betätigen der Startfunktionstaste arbeitet der Teiler wieder, und die Uhr läuft weiter.

Auf diese Weise ist es möglich, den Startzeitpunkt näher zum Zeitpunkt Null zu bringen, da der Teiltvorgang spätestens eine Periodendauer später als zum Zeitpunkt 0 einsetzt, wenn der vorhergehende Impuls unmittelbar vor dem Start bereits vergangen war. Damit umgeht man den Nachteil von Starteinrichtungen, die zum Zweck des Startens den Motor sperren, der wegen des Impulsabstandes von einer Sekunde im ungünstigen Fall erst eine Sekunde später weiterschaltet.

Zeigerschnellkorrekturschaltungen arbeiten durch Knopfdruck und die dadurch hervorgerufene Kontaktbetätigung. Sie erleichtern die Bedienbarkeit elektronischer Uhren und die Ausschöpfung der Genauigkeit.

5.2. Elektronische Kalender

Elektronische Kalender sind Programmgeberschaltungen in Quarzuhrn zur Ausgabe des Datums und des Wochentags in richtiger Folge und in Abhängigkeit von der Jahreslänge. Die Schaltungen können sowohl in analogen als auch in digitalen Uhren angewandt werden. Die Anzeige erfolgt in jedem Fall durch elektronische Anzeigemittel.



1 Sekundenteiler; 2 Minutensteiler;
3 Stundenteiler; 4 Tagesteiler; 5 Wochenteiler;
6 Monatsteiler; 7 Dekoder und Segmentansteuerung

Bild 5.1. Logischer Aufbau einer elektronischen Kalenderschaltung

Einfache analog anzeigende elektronische Uhren enthalten Day-Date-Einrichtungen, die von der mechanischen Uhr abgeleitet sind.

Sie erfordern eine Korrektur der Datum- und Tagesanzeige spätestens nach Ablauf von 2 Monaten. Um die Zeiteinstellung nicht korrigieren zu müssen, erfordern diese mechanischen Day-Date-Anzeigen Schnellkorrekturereinrichtungen, die die Zeitanzeige nicht beeinflussen. Solche Einrichtungen sind von mechanischen Uhren bekannt. Die Nutzung mechanischer Mittel zur Anzeige von Tag und Datum stellt einen Widerspruch zu den elektronischen Möglichkeiten dar. Ihre Nutzung folgt ökonomischen Erwägungen. Nutzt man die Vorteile der Integrationstechnik, so lassen sich mit elektronischen Anzeigemitteln Kalenderschaltungen aufbauen, die wenigstens für ein Jahr richtig anzeigen.

Aus Bild 5.1 geht der logische Aufbau eines elektronischen Kalenders hervor, dessen Anzeige durch ein Flüssigkristalldisplay erfolgt.

Nach der Teilung der Sekundenimpulse im Verhältnis $1/60$ zu Minuten und der weiteren Teilung $1/60$ in Stunden und der Teilung $1/24$ Stunden, wird der 24ste Impuls dem Wochenteiler $1/7$, und dem Tagesteiler $1/28$, $1/30$ und $1/31$ zugeführt.

Die Teilerfolge ist dem Monatsteiler zugeordnet, der im Verhältnis $1/12$ teilt und nach Ablauf eines Monats auf die folgende richtige Teilerstufe weiterschaltet. Das jeweilige für den Monat richtige Teilverhältnis ist im Tagesteiler einprogrammiert und wird mit der Zahl des Monats aufgerufen. Aus diesem Grund ist es möglich, den Kalender bei richtigem Start für vier Jahre, von Schaltjahr zu Schaltjahr, richtiggehend zu gestalten.

Zur Berücksichtigung der Schaltjahre muß ein zusätzlicher Jahreszähler eingesetzt werden, der nach jedem 4. Jahr für den 2. Monat nicht den Teiler $1/28$ sondern den Teiler $1/29$ aufruft. Die Größe des Jahresteilers bestimmt den Zeitraum, wie lange der Kalender das richtige Datum anzeigt.

Die Anzeige der Wochentage ist vom Jahresrhythmus unabhängig. Es ist möglich, dem jeweiligen Tag der Woche nicht nur eine Ziffer, sondern auch die Bezeichnung zuzuordnen. Man muß dazu einen weiteren Speicher verwenden, der die Folge der Wochentage enthält und sie in dekodierter Form anzeigt. Er schaltet beim Eintreffen des Tagesimpulses um einen Tag weiter und beginnt beim siebten Tag den Schalt-rhythmus von neuem. Im einfachsten Fall enthält die Anzeige die Wochentage. Sie werden vom Teiler für einen Tag lang angesteuert und mit dem Tagesteiler um einen Tag weitergeschaltet. Dadurch umgeht man die aufwendigen Speicher für die vollständige alphanumerische Einspeicherung der Wochentagsinformation und spart Chipfläche. Es ist auch üblich, nur die ersten beiden Buchstaben des Wochentages alphanumerisch anzuzeigen.

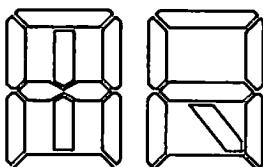


Bild 5.2. Symbole für die Darstellung der beiden Anfangsbuchstaben der Wochentage

Der Aufruf der Speicherstellen erfolgt auf die gleiche Art und Weise. Bild 5.2 zeigt die Symbole für die Darstellung der ersten beiden Wochentagsbuchstaben.

Durch weitere logische Verknüpfungen ist es möglich, Kalenderschaltungen so aufzubauen, daß man für ein bestimmtes kommendes Jahr den Wochentag eines

bestimmten Datums ermitteln kann. Der zu ermittelnde Tag wird dazu in Form des gewünschten Datums eingegeben, das Kalenderprogramm mit erhöhter Impulsfrequenz angesteuert und die Schaltung durch eine Koinzidenzschaltung gestoppt.

Andere Möglichkeiten bestehen, durch mehrfaches Einspeichern von Datumswerten Tagetermine einer Woche wieder abzurufen, indem man gleichzeitig für den jeweiligen Tag die Zeit des Termins einspeichert. Kalenderschaltungen für derartige Aufgaben erfordern umfangreiche logische Verknüpfungen und viel Speicherfläche, die zu hohem ökonomischem Aufwand führen.

5.3. Programmgebereinrichtungen

Elektronische Stoppuhren, elektronische Schaltuhren und Terminuhren enthalten Programmgeberschaltungen.

Die erforderlichen Programme sind starr einprogrammiert und werden durch Schalter aufgerufen. Sie lassen sich beliebig oft wiederholen. Bild 5.3 zeigt den Ausschnitt aus dem logischen Schaltbild einer Stoppuhr, wie es Bestandteil einer vollelektronischen Armbanduhr ist.

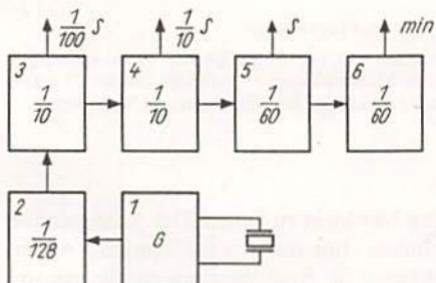


Bild 5.3. Logisches Schaltbild einer Stoppuhr als Zusatzeinrichtung einer digitalen Armbanduhr

1 Oszillator 32768 Hz; 2 Teiler 1:128; 3 Teiler 1:10 für 100stel-Sekunden; 4 Teiler 1:10 für 10tel-Sekunden; 5 Teiler 1:60 für Sekunden; 6 Teiler 1:60 f. Minuten

Für die Stoppfunktion wird die Quarzfrequenz im Verhältnis $1/128$ geteilt und diese Frequenz dem Teiler $1/10$ zugeführt. Von diesem Teiler greift man die Hundertstelsekunden ab. Durch weitere Teilung im Verhältnis $1/10$ erhält man Zehntelsekunden und durch die Teilung $1/60$ Sekunden und Minuten.

Beim Unterbrechen der Frequenzzufuhr bleibt die gestoppte Zeit erhalten und wird weiter angezeigt. Durch Nullstellen aller Teiler und neue Frequenzzufuhr beginnt der Stoppvorgang von neuem. Stellt man die Teiler nicht auf Null, so addiert die Uhr, und man erhält einen Additionsstopper.

Durch andere logische Verknüpfungen und Zwischenspeicherung von gestoppten Zeiten, die zum Stoppzeitpunkt der weiterlaufenden Teilerkette entnommen werden, ist es möglich, Zwischenzeiten zu entnehmen, ohne den Stoppvorgang zu unterbrechen. Mit ähnlichen Verknüpfungen lassen sich vollelektronische Stoppuhren aufbauen. Ein Beispiel zeigt der Übersichtsschaltplan einer solchen Uhr mit vier Programmen (Bild 5.4).

Diese Stoppuhr arbeitet mit Leuchtdiodenanzage. Aus diesem Grund ist ein Multiplexer erforderlich, der die einzelnen Ziffern nacheinander ansteuert und nur für

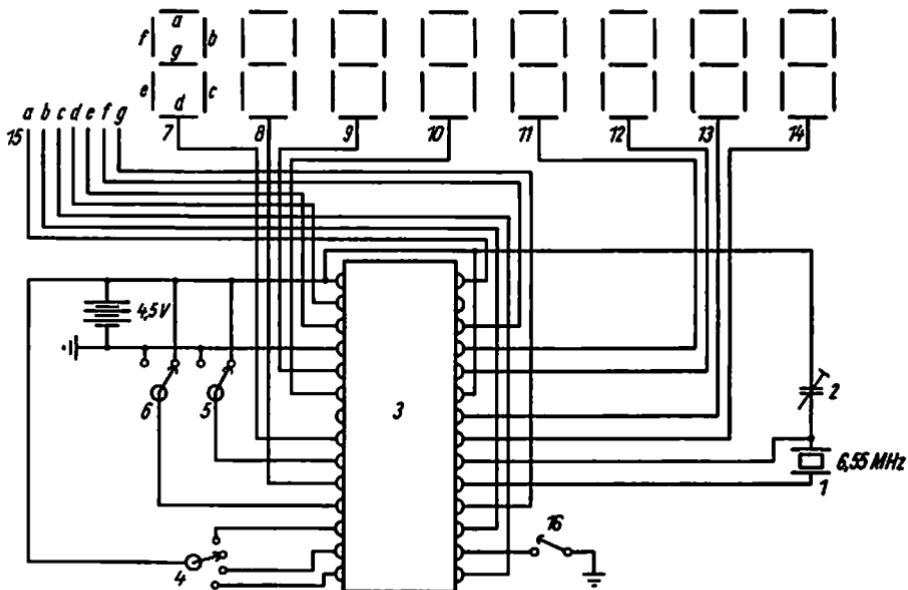


Bild 5.4. Übersichtsschaltplan einer Stoppuhr mit 4 Stopp-Programmen

1 Schwingquarz; 2 Trimmer; 3 Schaltkreis; 4 Programmschalter; 5 Start-Stopp-Schalter; 6 Anzeigeschalter; 7 Stunden-Zehner; 8 Stunden-Einer; 9 Minuten-Zehner; 10 Minuten-Einer; 11 Sekunden-Zehner; 12 Sekunden-Einer; 13 Zehntelsekunden; 14 Hundertstelsekunden; 15 Anschlüsse für Zifferbalken; 16 Nullstellung

kurze Zeit einschaltet, um den Strombedarf der Uhr klein zu halten. Die Anzeigetreiber sind Leistungsverstärker, die den relativ hohen Impulsstrom aufbringen. Andere Programmgebereinrichtungen enthalten Schaltkreise für Radioschaltuhren, die mit sog. Schlummerschaltungen arbeiten. In diesen Schaltungen ist die Einschaltungszeit des Geräts in einem bestimmten Zeitraum, meist 60 min, frei wählbar.

Durch Eingeben der Schlummerzeit wird eine Impulsinformation vorgespeichert. Diese Information wird mit der Anzahl der Minutenimpulse verglichen, die aus dem Minutensteiler entnommen werden. Gleichen sich die Information im Speicher und die Anzahl der in den Zähler eingelaufenen Minutenimpulse, so wird ein Koinzidenzsignal ausgelöst, der Zähler auf Null gestellt und das Gerät durch das Koinzidenzsignal ausgeschaltet. Das Auslösen des Vorgangs, also das Einschalten des Geräts erfolgt ebenfalls durch ein Koinzidenzsignal, das beim Eintreten des Wecksignals auftritt.

Sieht man für das Wecksignal mehr als eine Speichermöglichkeit vor, so lassen sich Einschaltzeiten gleicher Länge für jeden Wecktermin einprogrammieren. Will man unterschiedliche Einschaltzeiten jedem Termin zuordnen, so ist für jeden Weckzeitspeicher ein spezieller Schlummerspeicher erforderlich.

Durch Programmgebereinrichtungen lassen sich viele, zeitlich programmierbare Vorgänge mit Speichereinrichtungen und Koinzidenzschaltungen verwirklichen, deren terminlicher Ablauf im Zeitraum von Stunden, Monaten oder Jahren liegt. Ihre Verwirklichung ist ein ökonomisches Problem, das von der Größe der Chipfläche und dem Integrationsgrad der Schaltung abhängt.

5.4. Regenerierschaltungen für die Energiequelle elektronischer Uhren

Ein Nachteil aller elektronischen Uhren ist der begrenzte Energieinhalt ihrer Energiequelle. Im Gegensatz zu mechanischen Energiespeichern sind nicht alle galvanischen Elemente wiederaufladbar. Um diesen Nachteil zu umgehen, verwendet man aktive elektronische Bauelemente. Solche Elemente sind Solarzellen.

Solarzellen sind Siliziumhalbleiterelemente, die unter Einwirkung von Licht elektrischen Strom abgeben.

Die Ausbeute an elektrischer Energie ist von der Menge des einfallenden Lichtes, der Lichtstärke und der Lichtfarbe abhängig. Die aus Solarelementen gewonnene elektrische Energie wird zum Nachladen galvanischer Elemente genutzt.

Solche wiederaufladbaren Elemente sind allgemein Sekundärelemente. Die Lebensdauer dieser Elemente ist jedoch unter den Bedingungen eines ständigen Nachladens nicht größer als 3 Jahre.

Durch besondere Maßnahmen lassen sich Primärelemente auch auf die gleiche oder eine höhere Lebensdauer bringen. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Sekundärelementen nicht sinnvoll, da Primärelemente bei höherer Lebensdauer eine günstigere Entladecharakteristik haben.

Nach Untersuchungen, die auf Erkenntnisse bei der Entwicklung von Primärelementen zurückgehen, lassen sich Primärelemente durch Reaktivierung der Anode „wiederaufladen“. Da der Ladestrom von der zugeführten Lichtmenge abhängt und schon geringe Lichtstärken zum Ladestrom führen müssen, ist es notwendig, die Ladeeinrichtung auf den geringstmöglichen Lichtstrom abzustimmen.

Solche Mittel sind Widerstände, die bei großen Ladestromstärken einen hohen Spannungsabfall erzeugen, während sie bei geringen Ladestromstärken nur zu einer geringen Absenkung der Ladespannung führen. Diesen Ansprüchen genügen spannungsabhängige Widerstände, sog. Varistoren. Bild 5.5 zeigt das Prinzipschaltbild einer solchen Ladeeinrichtung.

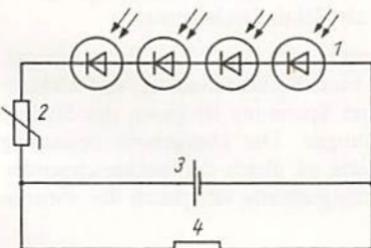


Bild 5.5. Prinzipieller Aufbau der Ladeeinrichtung einer Solaruhr

1 Solarzellen; 2 spannungsabhängiger Widerstand; 3 Spannungsquelle; 4 Uhrwerk

Da die Lebensdauer nichtregenerierbarer Primärelemente höher ist als die „regenerierbarer“ und der Leistungsbedarf elektronischer Uhren zurückgeht, haben elektronische Uhren mit Solarzellen nur geringe Bedeutung.

6. Elektrische Energiequellen

6.1. Primärelemente

Elektrische Uhren werden aus elektrischen Spannungsquellen gespeist.

Elektrische Spannungsquellen können öffentliche Stromversorgungsnetze, Primär- oder Sekundärelemente sein. Während öffentliche Versorgungsnetze eine zeitlich unbegrenzte Energieabnahme ermöglichen, ist die Abgabebereitschaft von Primärelementen und Sekundärelementen begrenzt.

Die zeitliche Dauer der möglichen Energieabgabe ist von der elektrischen Ladung der Energiequelle abhängig. Man bezeichnet die Elektrizitätsmenge einer Spannungsquelle mit Q . Sie ist das Produkt aus dem abgegebenen Strom und der Dauer des Stromflusses:

$$Q = It.$$

Die wichtigste Spannungsquelle für netzunabhängige Uhren ist das galvanische Element. Galvanische Elemente sind Gleichspannungsquellen, die durch einen elektrochemischen Vorgang elektrische Spannung erzeugen.

Man unterscheidet zwei Arten elektrochemischer Spannungsquellen, solche, die auf Grund eines elektrochemischen Vorgangs eine Spannung erzeugen und solche, die auf Grund eines elektrochemischen Vorgangs eine Spannung speichern.

- Elektrochemische Spannungsquellen, die aus der chemischen Reaktion zweier Stoffe elektrische Energie erzeugen, bezeichnet man als Primärelemente.
- Elektrochemische Spannungsquellen, die durch einen chemischen Vorgang die elektrische Energie speichern, bezeichnet man als Sekundärelemente.

Ein galvanisches Element, das eine Spannung mit einem typischen Wert erzeugt, bezeichnet man auch als elektrochemische Zelle. Eine Reihenschaltung von elektrochemischen Zellen wird als Batterie bezeichnet. Ihre Spannung ist gleich der Summe der Einzelspannungen der typischen Zellenspannungen. Die abgegebene Spannung eines elektrochemischen Elements oder einer Batterie ist gleich der kennzeichnenden Spannung E , vermindert um den Betrag des Spannungsabfalls, der durch den inneren Widerstand der Spannungsquelle entsteht:

$$U = E - IR_i$$

E Spannung des Elements beim Strom 0

I Laststrom

R_i Innerer Widerstand.

Die Größe des inneren Widerstands ist entscheidend für die maximale Stromstärke, die eine elektrochemische Energiequelle abzugeben vermag. Im Falle der Erschöpfung eines elektrochemischen Elements steigt der Innenwiderstand sehr stark an. Auf

Grund dieser Tatsache bricht die Spannung der Energiequelle bei Stromentnahme sofort zusammen.

Primärelemente lassen sich aus zwei Metallen herstellen, die in der voltaischen Spannungsreihe genügend weit auseinander stehen. Ein Primärelement entsteht, wenn man die beiden Metalle in eine leitende Flüssigkeit (Elektrolyt) taucht. Die voltaische Spannungsreihe der Metalle ist im Bild 6.1 dargestellt.

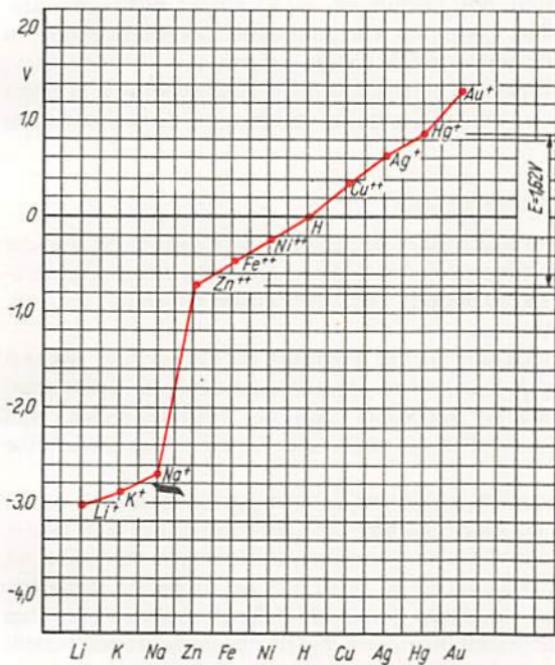


Bild 6.1. Die voltaische Spannungsreihe der Metalle

Aus diesem Diagramm läßt sich die annähernde Spannung eines einfachen galvanischen Elements ableiten. Entsprechend einer Vereinbarung hat das Element Wasserstoff (H) die festgelegte Polarität 0.

Auf diese Polarität wird die Polarität aller Metalle bezogen. Sie ist negativ, wenn sich das Metall unterhalb der Nulllinie befindet, sie ist positiv für den Fall, daß sich das Metall oberhalb der Nulllinie befindet.

Die Größe der theoretisch möglichen Spannung ist gleich der Summe der beiden Absolutwerte, die die beiden Spannungen in bezug auf die Nulllinie haben.

Für das im Diagramm dargestellte Beispiel ZnHg ergibt sich eine theoretische Spannung von $E = 1,62$ V. Die tatsächliche Spannung, die an den Klemmen des Primärelements auftritt, ist jedoch kleiner, weil die Komponenten des elektrochemischen Systems wie Widerstände wirken, die zu einem „inneren Spannungsabfall“ führen.

Bei Primärelementen liegt der positive Pol immer beim edleren Metall. Den negativen Pol bildet immer das Metall, das gegenüber dem Element Wasserstoff negatives Potential aufweist. Aus der Spannungsreihe der Metalle lassen sich unterschiedliche galvanische Elemente ableiten. Praktische Bedeutung haben

- das Braunstein-Zink-Element (1,5 V Nennspannung)
- das alkalische Braunstein-Zink-Element (1,5 V Nennspannung)
- das Quecksilberoxid-Zink-Element (1,35 V Nennspannung)
- das Silberoxid-Zink-Element (1,5 V Nennspannung)
- das Lithium-Braunstein-Element (1,5 V Nennspannung)
- das Luftsauerstoff-Zink-Element (1,5 V Nennspannung)

Die einfachsten galvanischen Elemente sind sog. Naßelemente. Bei ihnen ist die leitende Flüssigkeit, die den Ionentransport übernimmt, der Elektrolyt, nicht gebunden. Sie erfordern eine stets senkrechte Lage, um ein Ausfließen des Elektrolyten zu verhindern. Sie sind darum nicht für transportable Geräte geeignet.

Trockenelemente enthalten den Elektrolyten in pastenförmigem Zustand oder in einem saugfähigen Material. Die Zellen sind durch Dichtmittel verschlossen, die ein Auslaufen des Elektrolyten sicher verhindern.

Kennzeichnende Eigenschaften der Primärelemente

Elektrochemische Spannungsquellen haben einen begrenzten Energieinhalt, der von der Elektrodenoberfläche, dem Innenwiderstand, den Eigenschaften des Elektrodenwerkstoffes, der Selbstentladung, der Lagersfähigkeit und der Entladetemperatur abhängt. Man mißt die Zellenkapazität in Ah.

Um die Eigenschaften eines elektrochemischen Elements zu beschreiben, zeichnet man das Entladeverhalten bei gleichbleibendem Entladewiderstand als Spannungs-Zeit-Kennlinie auf. Dieses Diagramm bezeichnet man als Entladekennlinie. Ein Element hat um so bessere Eigenschaften, je mehr die Kennlinie zur Zeit-Achse parallel verläuft.

Von guten Elementen fordert man am Schluß der Entladung ein nahezu senrektes Absallen der Spannung gegen Null. Einen solchen Entladeverlauf haben nur wenige Elemente. Sie sind im Vergleich mit einfachen galvanischen Elementen teuer. Da mit zunehmender Entladung die Fähigkeit der Zelle, hohe Ströme abzugeben, nachläßt, definiert man einen Spannungswert, unterhalb dessen die Zelle als entladen gilt. Man bezeichnet diese Spannung als Entladeschlußspannung. Sie ist standardisiert und bezieht sich auf einen bestimmten Elementtyp. Die Entladeschlußspannung wird auch als „cut off“-Spannung bezeichnet.

Eine Übersicht über das Entladeverhalten unterschiedlicher Primärelemente zeigen die

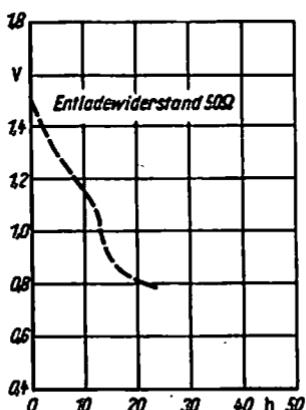


Bild 6.2. Entladekennlinie einer einfachen Braunstein-Zink-Zelle

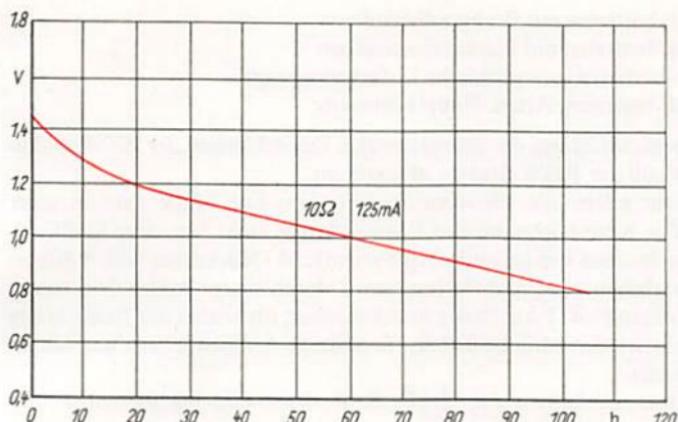


Bild 6.3. Entladekennlinie eines Alkali-Mangan-Elements

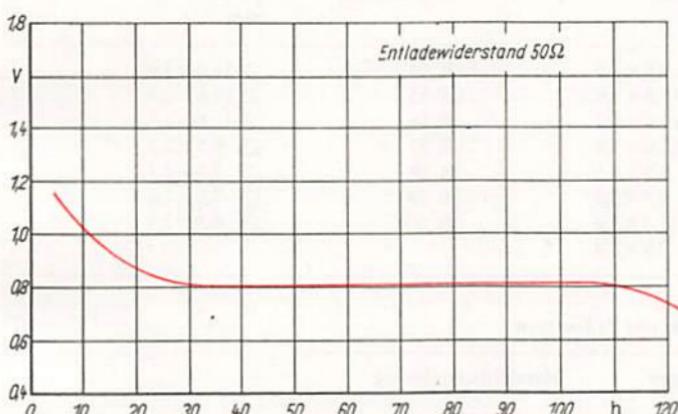


Bild 6.4. Entladekennlinie eines Quecksilberoxid-Elements

Bilder 6.2, 6.3, 6.4. Entscheidend für die Verwendung eines Primärelements sind auch seine Eigenschaften in bezug auf seine Lagerfähigkeit. Lagerfähigkeit und Selbstentladeverhalten entsprechen einander. Je größer die Lagerfähigkeit eines Elements ist, um so größer ist die Energiemenge, die über eine längere Entladezzeit entnommen werden kann. Zellen mit besonders hoher Lagerfähigkeit und besonderem Verlauf der Entladekennlinie sind für besondere Einsatzzwecke geeignet.

Der Energieinhalt eines Primärelements, seine Kapazität, bezieht sich stets auf die Entladeschlußspannung. Er ist von der Größe des Entladewiderstands und der Entladezzeit abhängig.

Standardisierung der Primärelemente

Primärelemente sind in bezug auf Größe, Spannungswerte, Entladebedingungen sowie Lager- und Lieferbedingungen, Miniaturzellen international nach den IEC-Empfehlungen, standardisiert.

Für die DDR gelten folgende standardisierte Primärelemente:

Primärelemente und -batterien mit Becherzellenaufbau
 Primärelemente und -batterien mit Plattenzellenaufbau
 Primärelemente, Primärbatterien, technische Lieferbedingungen
 Primärelemente und -batterien, Arten, Hauptkennwerte.

Die DDR-Standards berücksichtigen die internationalen Empfehlungen der IEC-Publikation 86 und sind innerhalb der RGW-Staaten abgestimmt.

Für Miniaturelemente gelten die IEC-Kennzeichnungen. Die Maße sind in einer Zahlenreihe gestuft. Zur Kennzeichnung des Elemententyps steht vor dem Maßkurzzeichen der Anfangsbuchstaben des galvanischen Systems: M Quecksilberoxid, S Silberoxid. Die Art der möglichen Kurzzeitbelastung wird durch einen Buchstaben hinter dem Maßkurzzeichen angegeben: P kurzzeitig hochbelastbar, für Uhren mit Beleuchtung oder LED-Anzeige geeignet, S niedrig belastbar, für analoge Armbanduhren und Uhren ohne Beleuchtung geeignet.

Beispiel: SR 48 P Silberoxidelement der Größe R 48, kurzzeitig hochbelastbar.

Tafel 6.1. IEC-Maßkurzzeichen für Miniaturelemente

Kurzzeichen	Maße mm	Kurzzeichen	Maße mm
R 41	$\varnothing 7,9 \times 3,6$	R 54	$\varnothing 11,6 \times 3,05$
R 42	$\varnothing 11,6 \times 3,6$	R 55	$\varnothing 11,6 \times 2,1$
R 43	$\varnothing 11,6 \times 4,2$	R 56	$\varnothing 11,6 \times 2,6$
R 44	$\varnothing 11,6 \times 5,4$	R 57	$\varnothing 9,5 \times 2,7$
R 45	$\varnothing 9,5 \times 3,6$	R 58	$\varnothing 7,9 \times 2,1$
R 46	$\varnothing 9,5 \times 5,4$	R 59	$\varnothing 7,9 \times 2,6$
R 47	$\varnothing 11,5 \times 5,6$	R 60	$\varnothing 6,8 \times 2,1$
R 48	$\varnothing 7,9 \times 5,4$		

Tafel 6.2. Kennzeichnung von Zellentypen

Typ	Abmessungen mm	Handelsbezeichnung
R 20	$\varnothing 31,5 \times 59,5$	Monozelle
R 14	$\varnothing 23,6 \times 49$	Babyzelle
R 6	$\varnothing 13,2 \times 49,5$	Mignonzelle
R 1	$\varnothing 13,2 \times 27$	Ladyzelle

Prüfen von Primärelementen

Primärelemente lassen sich zerstörungsfrei nur auf die Frischspannung, die Spannung unter standardisierter Last, und den vorgeschriebenen Kurzschlußstrom prüfen. Eine Prüfung der Zellenspannung und des Entladestandards eines Primärelements ist nur unter Vorbehalt durch Bestimmen des momentanen Kurzschlußstroms möglich, weil der Innenwiderstand eines Primärelements typenabhängig ist.

Die Zellenprüfung nach standardisierter Prüfmethode ist die einzige rechtlich verbindliche Grundlage für die Beurteilung eines Primärelements.

Für uhrentechnische Zwecke wird die Zellenspannung mit einem Spannungsmesser mit hohem Innenwiderstand und unter Parallelschalten eines Lastwiderstands geprüft. Entspricht unter diesen Bedingungen die Zellenspannung der Nennspannung, so ist die

Zelle brauchbar. Grundsätzlich muß vor dem Einsetzen eines Primärelements das Herstellungsdatum überprüft werden, um den Einbau überlagerter Primärelemente zu vermeiden.

6.1.1. Braunstein-Zink-Element

Braunstein-Zink-Elemente zählen zu den klassischen Primärelementen. Sie bestehen in ihrem grundsätzlichen Aufbau aus einem „Kohlestab“ (Graphitstab), der in einer eingedickten Ammoniumchloridlösung ruht. Um den beim Stromfluß am Graphitstab auftretenden Wasserstoff, der zu einer Inaktivierung des positiven Zellenpols führt, zu binden, ist dieser durch einen Depolarisator aus Mangandioxid geschützt. Er bewirkt durch die Abgabe von Sauerstoff die Oxydation des Wasserstoffs zu Wasser und ein „Feuchterwerden“ des Elements mit zunehmender Entladung der Zelle. Die Wasserstoffsammlung an der positiven Elektrode ist auf den Ablauf der elektrochemischen Reaktion im Element zurückzuführen. Diese verläuft so, daß der Zinkbecher durch die Ammoniumchloridlösung angelöst wird. Dabei wird das Zink in Ionen gespalten. Die positiven Zinkionen wandern durch den Elektrolyten zum Graphitstab und bilden dort einen positiven Potentialzustand. Am Zinkbecher entsteht durch den Entzug der positiven Ionen ein Elektronenüberschuß und damit ein negatives Potential. Während des Stromflusses wandern mit den positiven Ionen auch Wasserstoffbläschen zur positiven Elektrode. Sie werden durch den Braunstein depolarisiert und zu Wasser oxydiert.

Die Hauptnachteile des Braunstein-Zink-Elements bestehen in seiner ungünstigen Entladekennlinie (Bild 6.2), seiner ungenügenden Lagerfähigkeit auf Grund seiner hohen Selbstentladungsneigung und der Gefahr des Austretens von Elektrolyt beim entladenen Element. Der durch den Elektrolyten angelöste Zinkbecher wird dabei an verschiedenen Stellen durchfressen und Elektrolyt tritt aus.

Leak-Proof-Elemente. Um das Austreten von Elektrolyt aus der Zelle zu verhindern und um ein Austrocknen und Selbstentladen der Zelle zu verlangsamen, kapselt man

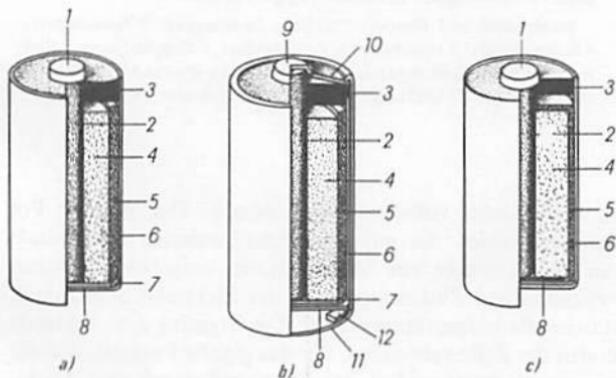


Bild 6.5. Primärelemente in klassischer Ausführung, als Leak-Proof-Element und als Paperlined-Element

a) übliche Bauart; b) Leak-Proof; c) Paperlined

1 Kappe; 2 Kohlestab; 3 Vergußmasse; 4 Depolarisator; 5 Elektrolyt; 6 Zinkbecher; 7 Kantschutz; 8 Bodenscheibe; 9 Deckkappe; 10 Dichtpapier; 11 Bodenkappe; 12 Bodendichtung

Braunstein-Zink-Elemente in eine Stahlummantelung ein. Derartige Zellen bezeichnet man als „Leak-Proof“ (lecksicher). Sie sind lagerfähig und zeichnen sich durch eine längere Lagerfähigkeit aus. Der Unterschied im Aufbau einer klassischen Zelle und einer Leak-Proof-Zelle geht aus Bild 6.5 hervor.

Eine andere Ausführung der Braunstein-Zink-Zelle ist die „Paperlined-Zelle“. Sie unterscheidet sich in ihrem Aufbau nur durch die Unterbringung des Elektrolyten in saugfähigem Papier.

6.1.2. Alkalisches Braunstein-Zink-Element

Wegen seiner Nachteile wurde das Braunstein-Zink-Element in bezug auf seine kennzeichnenden Eigenschaften weiterentwickelt. Es entstand das Alkali-Element. Es unterscheidet sich in seinem prinzipiellen Aufbau vom klassischen Braunstein-Zink-Element durch seinen Elektrolyten, der aus Kaliumhydroxid besteht. Dieser Elektrolyt reagiert im Unterschied zum Ammoniumchlorid basisch. Die Depolarisationsneigung und Selbstentladung ist geringer. Es zeichnet sich durch eine größere Zellenkapazität aus und hat auf Grund seiner Eigenschaften eine höhere Lagerfähigkeit. Um die günstigen Eigenschaften maximal zu nutzen, ist der Aufbau komplizierter als der eines klassischen Braunstein-Zink-Elements. Er ist aus Bild 6.6 ersichtlich.

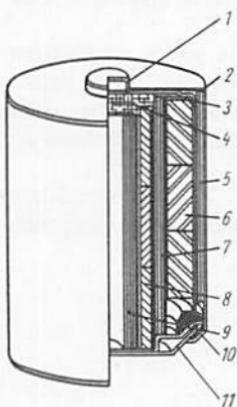


Bild 6.6. Alkalisches Braunstein-Zink-Element

1 Stahlmantel und Pluspol; 2 äußerer Stahlmantel; 3 Isolierscheibe; 4 Isolierstopfen; 5 absorbierende Zwischenlage; 6 Depolarisator; 7 Elektrolyt in absorbiertem Material; 8 zylindrische Zinkanode; 9 Scheider für Elektrolyt; 10 Dichtung; 11 doppelter Stahlboden, Minuspol

Die Zelle ist durch einen Stahlmantel vollständig geschlossen. Der positive Pol wird von der oberen Stahlkappe gebildet, die mit einer amalgamierten Stahlspirale verbunden ist. Diese ist vom Depolarisator aus Mangandioxid umgeben. Zwischen dem Depolarisator und der zylindrischen Zinkelektrode ist der Elektrolyt angeordnet, der von einer saugfähigen Manschette aufgenommen wird. Die negative Zinkelektrode ist mit dem doppelten Stahlboden der Zelle verbunden, der das gleiche Potential wie die Zinkelektrode hat. Zellenboden und positiver Pol der Zelle sind durch eine Dichtmanschette getrennt. Sie ist gleichzeitig der Isolator. Äußerer und innerer Stahlmantel sind durch eine saugfähige, zylindrische Manschette isoliert. Der äußere Stahlmantel ist zur Verhinderung von Kurzschlüssen mit einer Kunststoffschicht überzogen. Die Zelle hat eine Nennspannung von 1,5 V. Der Verlauf ihrer Entladekennlinie ist günstiger als bei einem klassischen Primärelement.

6.1.3. Quecksilberoxid-Element

Quecksilberoxid-Elemente haben wesentlich günstigere Eigenschaften als Braunstein-Zink-Typen. Sie zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- hohe Zellenkapazität
- sehr flacher Verlauf der Entladekennlinie
- lange Lagerfähigkeit.

Ihre Nachteile sind die hohe Giftigkeit der entladenen Zelle, die hohen Aufwendungen zur Vermeidung von Vergiftungen bei ihrer Herstellung und ihr hoher Preis.

Bild 6.7 zeigt den Aufbau eines Quecksilberoxid-Elements. Es unterscheidet sich in der Anordnung der Elektroden grundsätzlich von den üblichen Primärelementen. Der negative Zinkzylinder besteht aus vier Teilen, die aus Zinkgranulat gepreßt sind. Er steht mit dem Zellendeckel in leitender Verbindung. Damit ist der negative Pol der Zelle oben.

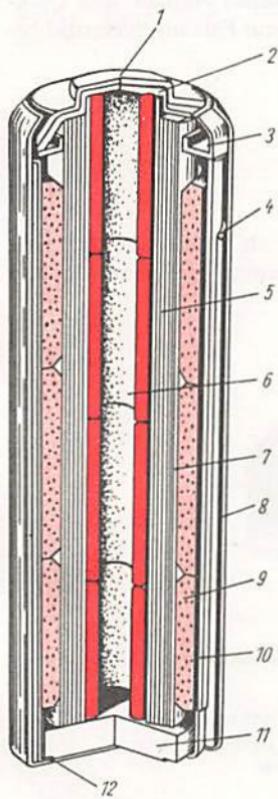


Bild 6.7. Quecksilberoxid-Element

1 vernickelter äußerer Stahldeckel; 2 vernickelter innerer Stahldeckel; 3 Dichtungs- und Isolierring; 4 Sicherheits-Absorptionsmanschette; 5 Elektrolyt in Absorptionsmaterial; 6 vier Zink-anodenzyliner; 7 Sperrre; 8 äußeres Stahlgehäuse; 9 drei Quecksilberoxidzyylinder; 10 inneres Stahlgehäuse; 11 Isolierzwischenstück; 12 Austrittsöffnung

Der Elektrolyt ist in absorptionsfähigem Werkstoff gespeichert, der die Zinkelektrode umschließt. Zwischen dem Elektrolytträger und dem Quecksilberoxidzyylinder liegt eine Ionensperre, die eine Inaktivierung der Zelle verzögert. Der Quecksilberoxidzyylinder besteht aus drei zylindrischen Preßlingen und hat die Aufgabe des Depolarisators. Die positive Elektrode bildet das Quecksilber, das aus dem Depolarisator abgeschieden

wird. Zur Verbesserung der stromleitenden Eigenschaften enthält der Depolarisator Graphit. Aus dem gleichen Grund ist der Elektrolyt aus Kaliumhydroxid mit Zink angereichert. Der galvanische Prozeß läuft wie folgt ab: Bei Belastung des Elements mit einem Lastwiderstand wandern Zinkionen in den Elektrolyten und verdrängen dort die positiven Wasserstoffionen. Diese treten in das Quecksilberoxid ein und verdrängen die Quecksilberionen, die die einströmenden Elektronen aufnehmen und diese neutralisieren. Die Wasserstoffionen reagieren mit dem Sauerstoff zu Wasser. Da das Quecksilber selbst Werkstoff der Elektrode ist, tritt keine Polarisation im eigentlichen Sinn auf. Die Nennspannung des Elements beträgt 1,35 V.

Quecksilberelemente werden in den klassischen Größen R 20 und R 14 sowie R 6 hergestellt. Sie haben auch als Primärelemente für Armbanduhren Bedeutung. Ihren grundsätzlichen Aufbau zeigt Bild 6.8.

6.1.4. Silberoxid-Element

Silberoxid-Elemente unterscheiden sich in ihrem grundsätzlichen Aufbau vom Quecksilberoxid-Element nur durch ihren Depolarisator, der in diesem Fall aus Silberoxid besteht. Sie zeichnen sich durch

- einen sehr flachen Verlauf der Entladekennlinie,
- eine hohe Zellenkapazität,
- ein geringes Selbstentladeverhalten,
- eine hohe Lagerfähigkeit und
- geringe Toxizität aus.

Silberoxidzellen werden wegen des hohen Silberanteils nur als Armbanduhrelemente hergestellt. Sie haben im Unterschied zum Quecksilberoxid-Element eine Nennspannung von 1,5 V. Die Frischspannung beträgt 1,56 V (Bild 6.8).

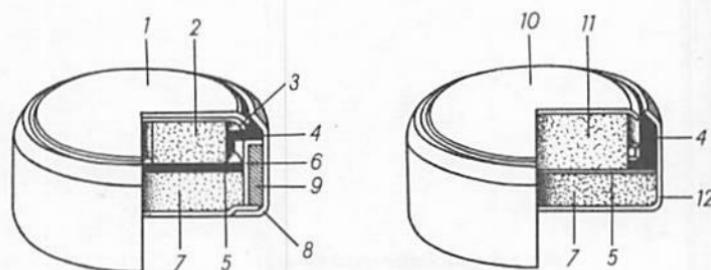


Bild 6.8. Quecksilberoxid- und Silberoxidzellen als Miniaturelement zum Antrieb elektronischer und elektrischer Armbanduhren

1 äußerer Deckel; 2 Anode mit amalgamiertem Zink; 3 innerer Deckel; 4 Dichtung; 5 Scheider; 6 inneres Gehäuse; 7 Depolarisator (Quecksilberoxid, Silberoxid); 8 äußeres Gehäuse; 9 Sicherheitsmanschette; 10 Deckel; 11 Zinkanode mit großer Oberfläche; 12 Gehäuse

Lithium- SO_2 -Zelle. In der voltaischen Spannungsreihe steht das Lithium am äußeren Ende. Elemente, die mit diesem Metall aufgebaut werden, erzeugen eine Nennspannung von 3,0 V. Um diesen Vorteil zu nutzen, sind umfangreiche Entwicklungsarbeiten an diesem elektrochemischen System geleistet worden. Lithium- SO_2 -Zellen zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Primärspannung von 3,0 V
 - 3fache Energiedichte gegenüber einem Quecksilberoxid-Element
 - lange Lagerfähigkeit (bis zu 10 Jahren)
 - kein wäßriger Elektrolyt.

In ihrem Grundaufbau bestehen die Elemente aus einer Lithium-Folienanode, einem Separator und einer kohlenstoffhaltigen Katode. Diese drei Teile sind spiralförmig übereinander gewickelt und Anode sowie Katode mit den jeweiligen Deckelkontakte verschweißt. Das gesamte Element befindet sich in einem gasdichten Stahlbehälter.

Trotz der beschriebenen Vorteile haben sich Lithium-SO₂-Elemente für Uhren nicht durchsetzen können. Ursachen dafür sind der hohe Preis, die gleich große Kapazität eines Miniaturelements auf Lithiumbasis, wie sie auch ein Silberoxid-Element erreicht (ungünstiges Verhältnis zwischen Speichervolumen und toter Masse), sowie Explosionsgefahr bei Kurzschluß.

Wegen der raschen Erwärmung der Zelle bei Kurzschluß und der Explosionsgefahr werden Lithiumelemente in der Größe R20 und R14 grundsätzlich mit einer eingebauten Sicherung geliefert, die im Kurzschlußfall zerstört wird.

6.2. Sekundärelemente

Sekundärelemente sind wiederaufladbare Elemente, bei denen durch die Zuführung elektrischer Energie der chemische Zustand der Zellenelektroden verändert wird.

Bei Entnahme elektrischer Energie stellt sich der ursprüngliche chemische Zustand wieder ein.

Sekundärelemente haben in der Uhrentechnik für Uhrenanlagen und für elektrische Geräte Bedeutung, wo sie bei Ausfall der Versorgungsspannung als Energiezwischen-speicher die Versorgung der Uhr mit elektrischer Energie aufrechterhalten. Als aufladbare Elemente für Wohnraum- und Armbanduhren haben sie wegen ihrer technischen Nachteile keine Bedeutung.

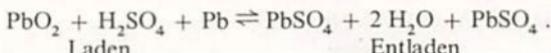
Zum Betrieb von Uhrenanlagen sind die Sekundärelemente in Batterien zusammengefaßt.

6.2.1. Blei-Schwefelsäure-Element

Blei-Schwefelsäure-Elemente haben eine Nennspannung von 2,1 V je Zelle.

Funktionsprinzip. In einem Behälter mit verdünnter Schwefelsäure (H_2SO_4) steht eine Elektrode aus reinem Blei (Pb) und eine Elektrode aus Bleioxid (PbO_2). Durch Reaktion mit der verdünnten Schwefelsäure bedecken sich beide Elektroden mit einer dünnen Bleisulfatschicht ($PbSO_4$). Beim Anlegen einer Spannung fließt durch dieses System ein Strom, der Ursache eines Redoxvorgangs ist. Man bezeichnet diesen Vorgang als „Laden“. Dabei bildet sich an der positiven Platte aus dem Bleisulfat Bleioxid, während an der negativen Platte das Bleioxid in reines Blei umgewandelt wird. Beim Entladen kehrt sich der Vorgang um. Beim Ladevorgang entsteht durch Elektrolyse Sauerstoff und Wasserstoff.

Den Ladenvorgang und den Entladenvorgang beschreibt die Beziehung:



Während des Lade- und Entladevorgangs nimmt der Elektrolyt am elektrochemischen Prozeß teil. Dadurch ändert sich die Säurekonzentration im geladenen und im ungeladenen Zustand. Sie ist im entladenen Zustand geringer. So ist es möglich, den Ladezustand einer Batterie über die Säuredichte zu bestimmen.

Blei-Schwefelsäure-Elemente erreichen als Ladeendspannung 2,7 V. Sie fällt beim Anlegen einer Last auf 2,1 V ab. Entsprechend der Funktion eines Sekundärelements ergeben sich zwei Kennlinien, die Lade- und die Entladekennlinie. Sie sind im Bild 6.9 dargestellt. Ihr Verlauf verändert sich mit der Lade- und Entladezzeit nicht.

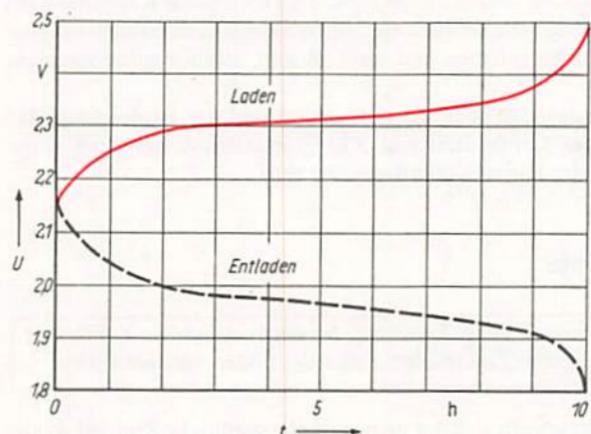


Bild 6.9. Lade- und Entladekennlinie eines Blei-Schwefelsäure-Sammlers

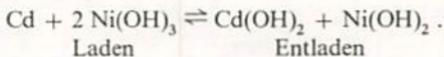
Nach den im Standard festgelegten Betriebsbedingungen bezieht man die Ladung und die Entladung auf eine Zeit von 10 Stunden. Blei-Schwefelsäure-Elemente sind nicht wartungsfrei! Sie müssen durch Hinzufügen von destilliertem Wasser auf gleichbleibender Dichte für den Elektrolyten der geladenen Zelle gehalten werden.

6.2.2. Nickel-Cadmium-Element

Nickel-Cadmium-Elemente sind Sekundärelemente, deren Elektrolyt während des Lade- und Entladevorgangs nicht verändert wird. Er ist basisch.

Nickel-Cadmium-Elemente haben eine Nennspannung von 1,35 V. Sie sind gegen Unterschreiten der unteren Entladungsspannung empfindlich, weil dann die Elektroden zerstört werden. Die untere Entladungsspannung beträgt bei diesem Element 0,8 V.

Funktionsprinzip. Zwei dünne, vernickelte Stahlplatten stehen in einem Behälter mit 20%iger Kalilauge (KOH). Die positive Platte enthält als aktive Masse Nickelhydroxid (Ni(OH)_3), die negative Platte Cadmium (Cd) und Eisen (Fe). Diese Massen sind in perforierten Stahltaschen untergebracht, um einen möglichst ungehinderten Zutritt des Elektrolyten zu den Elektroden zu erreichen. Die beim Laden auftretende elektrochemische Reaktion ist umkehrbar.



Aus dieser Beziehung ist ersichtlich, daß die Kalilauge nicht am elektrochemischen Prozeß teilnimmt. Die Spannung dieser Elemente nimmt von 1,35 V auf 1,2 V ab. Die Entladekennlinie dieses Elements ist im Bild 6.10 dargestellt.

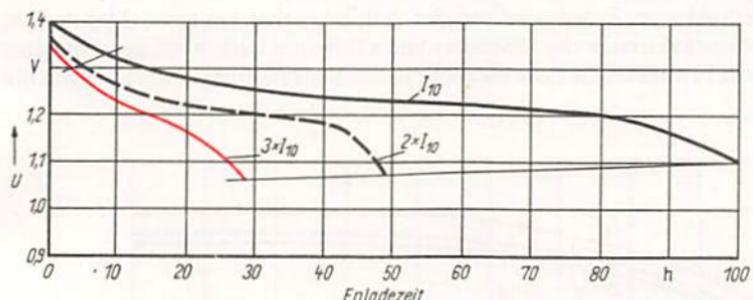


Bild 6.10. Entladekennlinie eines Nickel-Cadmium-Elements

6.2.3. Gasdichte Nickel-Cadmium-Zellen

Im Unterschied zu Blei-Schwefelsäure-Elementen lassen sich Nickel-Cadmium-Zellen als hinreichend gasdichte Zellen herstellen. Sie eignen sich für elektronische Geräte, die eine Zwischenspeicherung der elektrischen Energie erfordern. Ihre mittlere Lebensdauer beträgt 3 Jahre.

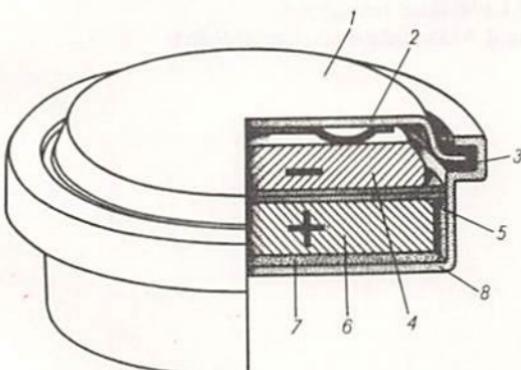


Bild 6.11. Gasdichte Nickel-Cadmium-Zelle

1 Deckel; 2 Kontaktfeder; 3 Dichtung; 4 negative Elektrode; 5 Scheider; 6 positive Elektrode; 7 Bodeneinlage; 8 Gehäuse

Bild 6.11 zeigt den Aufbau eines gasdichten Nickel-Cadmium-Elements. Die Zelle besteht aus einem positiven Gehäusenapf. Als Bodeneinlage enthält der Napf die positive Elektrode aus gemahlenem Nickelhydroxid in einem Beutel aus Nickeldrahtgewebe. Auf dieser Elektrode liegt die negative Zellenelektrode aus Cadmium. Sie ist von der positiven Elektrode durch einen feinporenigen Scheider getrennt. Sie besteht aus einem Cadmiumgranulat, hat Pillenform und ist ebenfalls von einem Nickelgewebe umschlossen. Der Kontakt zur negativen Zellenelektrode wird durch eine Kontaktfeder hergestellt. Sie stützt sich auf dieser Kappe ab und drückt auf die negative Elektrode. Der Deckel ist durch die Dichtmanschette vom Gehäuse isoliert.

Beim Ladevorgang erreicht zunächst die Nickelelektrode ihre volle Spannung. Der

von der Nickelelektrode abgespaltene Sauerstoff wird durch die größere positive Elektrode aufgenommen und als Cadmiumoxid gebunden. Dadurch entsteht ein Gleichgewichtszustand in der Zelle, der sich auch bei Überladung nicht wesentlich ändert. Der beim Laden steigende Innendruck erhöht die Dichtheit der Zelle.

Das Ladeverhalten der Zellen wird von der Zellenkapazität bestimmt. Man bezieht die Ladung auf einen Zeitraum von 10 Stunden und wählt einen Ladestrom, der dem Strom entspricht, der in 10 Stunden die Zelle bis zur Entladeschlußspannung entlädt. Er wird mit I_{10} bezeichnet.

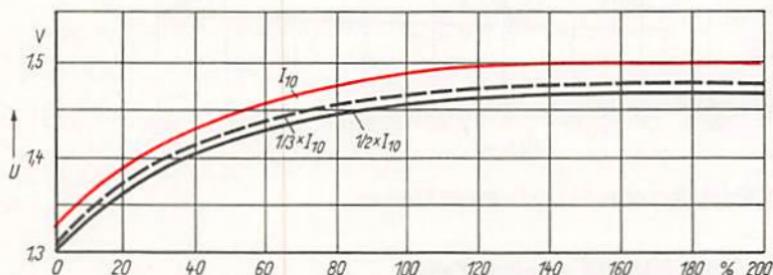


Bild 6.12. Ladekennlinie eines Nickel-Cadmium-Elements

Bild 6.12 zeigt die Ladekennlinie eines Nickel-Cadmium-Elements. Wie aus dem Verlauf der Kennlinien hervorgeht, haben Nickel-Cadmium-Elemente die Tendenz, ihre Spannung bei der Entladung um 0,3 V zu verändern. Die Ladespannung erreicht bei 120% Aufladung ihre Sättigung. Der Ladefaktor beträgt 1,4.

Sekundärelemente sind als Zellen und Akkumulatoren standardisiert.

7. Oszilloskope als uhrentechnische Prüfmittel

7.1. Aufbau und Wirkungsweise von Elektronenstrahlloszilloskopen

Vorgänge im elektrischen Stromkreis können ohne besondere Hilfsmittel nicht beobachtet werden. Strom und Spannung erfordern Meßgeräte, die über den Umweg der elektromagnetischen Wirkung Stromstärke und Spannungsgröße anzeigen. Sie lassen nur die Angabe des Augenblickwertes oder des Effektivwertes zu. Zum Darstellen des zeitlichen Verlaufs einer dieser Größen ist das wiederholte Messen und Aufzeichnen der Meßwerte in Form eines Diagramms erforderlich.

Zum Aufzeichnen sehr kurzzeitig ablaufender Vorgänge sind diese Methoden nicht brauchbar, weil die verwendeten Meßmittel zu träge sind. Ihre Darstellung ist mit Elektronenstrahlröhren möglich, deren Strahl in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung zeitäquivalent abgelenkt wird. Man bezeichnet Geräte, die Elektronenstrahlen zur Aufzeichnung kurzzeitig verlaufender Spannungsänderungen aufzeichnen, als Elektronenstrahlloszilloskop.

Elektronenstrahlloszilloskope sind elektronische Meßgeräte, die Spannungsänderungen einer oder mehrerer Meßspannungen auf dem Bildschirm einer Elektronenstrahlröhre in Abhängigkeit von einer frei wählbaren Darstellungszeit aufzeichnen.

Der grundsätzliche Aufbau eines Elektronenstrahlloszilloskops geht aus dem Übersichtsschaltplan im Bild 7.1 hervor.

Bestimmendes Bauelement dieser Geräte ist die Elektronenstrahlröhre. Zum Darstellen von zeitlich veränderlichen Spannungen auf der Elektronenstrahlröhre sind Netzgerät mit dem Hoch- und Niederspannungsteil, Y-Meßverstärker, X-Meßverstärker, Zeitablenkteil und Synchronisierungs- oder Triggerteil erforderlich. Die einzelnen Baugruppen des Oszilloskops haben folgende Aufgaben: Der *Netzteil* besteht aus Niederspannungs- und Hochspannungsteil. Der *Niederspannungsteil* versorgt die Elektronenstrahlröhre mit der Heizspannung sowie alle Baugruppen des Geräts mit den Betriebsspannungen. Der *Hochspannungsteil* erzeugt die Betriebsspannungen für die Elektronenstrahlröhre, wie Anodenspannung, Hilfsanodenspannung und Beschleunigungsspannung. Die Gitterspannung (Wehneltspannung) ist steuerbar. Sie läßt eine Einstellung der Bildhelligkeit (eigentlich des Leuchtpunktes) zu.

Der *Y-Verstärker* hat die Aufgabe, alle Spannungswerte, die vertikal dargestellt werden sollen, zu verstärken und den Ablenkplatten für die Y-Richtung zuzuführen.

Der *X-Verstärker* hat die Aufgabe, alle Spannungswerte, die horizontal dargestellt werden sollen, zu verstärken und den Ablenkplatten für die X-Richtung zuzuführen.

Das *Zeitablenkgerät* tritt in Funktion, wenn den Eingangsbuchsen des X-Verstärkers keine äußere Ablenkspannung zugeführt wird. Es erzeugt eine sägezahnförmige Ablenkspannung, deren Periodendauer durch einen Einstellwiderstand oder einen Schalter für

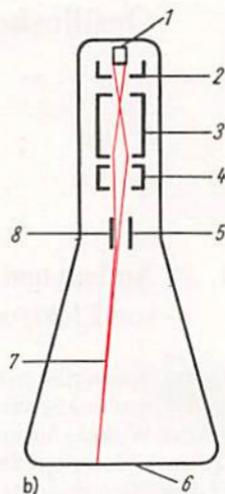
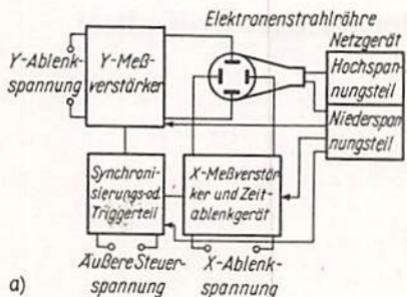


Bild 7.1. Übersichtsschaltplan eines Elektronenstrahl-
oszilloskops und Aufbau einer Elektronenstrahlröhre

a) Übersichtsschaltplan; b) Elektronenstrahlröhre

1 Katode; 2 Gitter; 3 Hilfsanode a_1 ; 4 Anode a_2 ; 5 Ablenkplatte für x; 6 Leuchtschirm; 7 Elektronenstrahl; 8 Ablenkplatte für y

unterschiedliche Ablenkfrequenzen in Grenzen frei gewählt werden kann. Sie wird durch einen RC-Generator erzeugt und lässt sich durch die Netzfrequenz synchronisieren. Die Genauigkeit des Zeitablenkgeräts genügt in der Praxis zur Bestimmung einer Frequenz. Synchronisiert man das Zeitablenkgerät mit der Netzfrequenz, so entspricht die Genauigkeit der Frequenzmessung der Genauigkeit der augenblicklichen Netzfrequenz. Für den Abgleich von Quarzuhren reicht diese Meßmethode nicht aus!

Der *Synchronisierungs- oder Triggerteil* ist nicht notwendiger Bestandteil eines Oszilloskops. Er ermöglicht, den Zeitablenkvorgang gleichzeitig mit der darzustellenden Spannung auszulösen. Dadurch erhält man ein stehendes Bild. Ist die darzustellende Spannung Ursache der Auslösung des Zeitablenkvorgangs, bezeichnet man diesen Vorgang als Trig-
gerung.

Die *Elektronenstrahlröhre* (s. Bild 7.1) ist eine Hochvakuumröhre, deren Leuchtschirm beim Auftreffen stark beschleunigter Elektronen an der Aufprallstelle aufleuchtet. Die Elektronen werden von der Katode 1 erzeugt, durch das Gitter 2 mit einer Vor-
spannung gesteuert und durch die Hilfsanode 3 und die Anode 4 gebündelt. Dabei wird der Elektronenstrahl elektronenoptisch fokussiert. Beim Passieren der Ablenkplatten 5 und 8 wird der gebündelte Elektronenstrahl 7 je nach dem an den Ablenkplatten anliegenden Potential gesenkt und trifft auf den Leuchtschirm 6. Der Leuchtschirm leuchtet am Auf-
prallpunkt auf. Da der Strahl über die Bildschirmfläche je nach der Potentiallage an den Ablenkplatten wandert, ergeben sich leuchtende Kurven auf dem Bildschirm.

7.2. Ausführungen

Oszilloskope sind elektronische Meßgeräte zur Darstellung und Prüfung rasch wechselnder Potentialzustände in Abhängigkeit von der Zeit. Eine direkte Messung von Strömen ist auf Grund ihres Wirkprinzips nicht möglich.

Sie werden hauptsächlich zum Messen niederfrequenter und hochfrequenter Vorgänge eingesetzt.

Man unterscheidet:

- Hochfrequenzoszilloskope für das Darstellen hochfrequenter Vorgänge bis 100 MHz
- Niederfrequenzoszilloskope für das Darstellen von Vorgängen bis zu 100 kHz
- Impulsoszilloskope für das Darstellen von Impulsvorgängen im Bereich von 0,5 Hz bis 1 MHz.

Niederfrequenz- und Impulsoszilloskope werden auch als Universaloszilloskope hergestellt. Diese Geräte eignen sich für den Einsatz in der Uhrentechnik (Bild 7.2).

Zum Prüfen und Messen elektrischer und elektronischer Uhren sind Impulsoszilloskope auch als spezielle Uhrenprüfgeräte hergestellt worden. Sie triggern das Eingangssignal und zeigen neben dem Impulsbild auch die Stromaufnahme der Uhr an (Bild 7.3).

Für die Auswahl eines Oszilloskops für uhrentechnische Zwecke sind folgende Eigenschaften kennzeichnend:



Bild 7.2.
Niederfrequenzoszilloskop

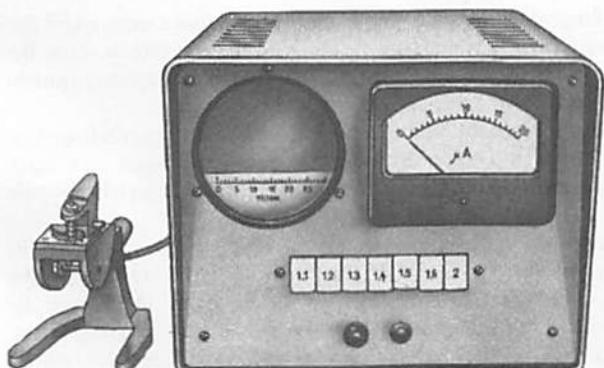


Bild 7.3. Ansicht eines Impulsoszilloskops mit Mikroamperemeter und einstellbarer Versorgungsspannung für den Prüfling

- geringstmögliche untere Grenzfrequenz (kleiner als 0,01 Hz)
- Empfindlichkeit der Eingangsverstärker etwa 100 mV
- Triggermöglichkeit
- gute Bildauflösung
- gute, einstellbare Bildschärfe.

7.3. Einsatz des Oszilloskops

Für den Einsatz des Oszilloskops in der Uhrentechnik ist folgendes zu beachten:

Mit Elektronenstrahlzosiloskopen lassen sich nur Potentialunterschiede darstellen. Die Darstellungsmöglichkeiten werden durch die untere und obere Grenzfrequenz des Oszilloskops eingeschränkt. Die zu prüfenden Spannungen müssen größer als die untere Eingangsempfindlichkeit des Oszilloskops sein. Bei Impulsmessungen kann die dargestellte Impulsform durch kapazitive Einflüsse in ihrer Form verändert sein. Die Schwingbedingungen von integrierten CMOS-Oszillatoren können durch die kapazitive Belastung mit der Meßleitung so verändert werden, daß die Schwingungen aussetzen.

Zum Bestimmen von Stromänderungen muß ein zusätzlicher Widerstand verwendet werden, der die Stromänderungen in Spannungsänderungen umformt. Die angezeigten Spannungen müssen in Stromänderungen umgerechnet werden!

Messungen mit dem Oszilloskop

In der Uhrentechnik verwendet man das Oszilloskop für qualitative und quantitative Messungen.

Qualitative Messungen sind:

- Ja-Nein-Aussagen über vorhandene Impulse, Schwingungen und Potentialwechsel
- Impulsformen, Schwingungsformen und Spannungsspitzen.

Quantitative Messungen sind:

- Frequenzmessungen
- Spannungsmessungen
- Zeidauerbestimmungen.

Quantitative Messungen verlangen immer eine Vergleichsgröße, deren Genauigkeit um mindestens eine Zehnerpotenz größer sein muß als die zu bestimmende Größe. Zum Bestimmen einer Frequenz, einer Impulsdauer und einer Spannung ist die Netzspannung nicht geeignet.

Eine der häufigsten Meßaufgaben in der Uhrentechnik ist die Beurteilung von Impulsen und das Bestimmen ihrer zeitlichen Dauer. Mit dem Oszilloskop lassen sich auch Frequenzmessungen und Abgleichsaufgaben lösen, wenn entsprechende Vergleichsnormale vorhanden sind.

Qualitative Messungen. Zur Ermittlung qualitativer Aussagen über eine zu prüfende Uhr müssen Uhr und Oszilloskop masseseitig auf gleichem Potential liegen. Dazu sind die Massebuchse des Oszilloskops und die Uhr zu verbinden und zu erden. Dann wird die elektronische Schaltung mit einem Meßkabel geringer Kapazität (etwa 1 pF) abgetastet. Die zum jeweiligen Meßpunkt gehörenden Spannungen werden so auf dem Bildschirm der Elektronenstrahlröhre abgebildet. Schirmbilder mit qualitativen Aussagen, die die Wirkung einer Funkenlöschdiode beweisen, sind in den Bildern 7.4 und 7.5 dargestellt.

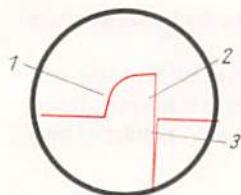


Bild 7.4. Einschaltimpuls einer Klappankeruhr ohne Funkenlöschdiode

1 Impuls vorderflanke; 2 Impulsrückflanke;
3 Gegeninduktionsspannung

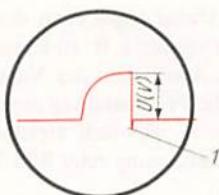


Bild 7.5. Einschaltimpuls einer Klappankeruhr bei Verwendung einer Funkenlöschdiode

Die Bilder 7.6 und 7.7 geben Auskunft über das ordnungsgemäße Arbeiten eines Schaltkontakte bei elektrischen Armbanduhren, und die Bilder 7.8, 7.9 und 7.10 machen eine Aussage über den Steuerimpuls einer transistorgesteuerten Armbanduhr sowie über die Ausgangsimpulse einer quarzgesteuerten analog anzeigenenden Armbanduhr.

Quantitative Messungen. Bei quantitativen Messungen müssen Oszilloskop und Uhr ebenfalls masseseitig geerdet sein. Eine Verbindung des Zeitnormals für die Vergleichsmessungen oder eines Spannungsnormals mit der Masse von Prüfgerät und Uhr ist in jedem Fall erforderlich.

Zum Bestimmen des Scheitelwertes einer Wechselspannung oder eines Impulses wird die 0-Linie des Oszilloskops so eingestellt, daß die Vergleichsspannung auf dem Bildschirm noch abgebildet wird. Dann legt man die Vergleichsspannung an den Y-Verstärker und ermittelt mit der Rastermaske durch Auszählen die Verschiebung der 0-Linie nach oben

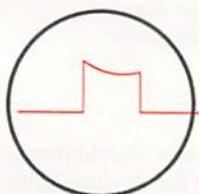


Bild 7.6. Schaltimpuls einer kontaktgesteuerten Armbanduhr

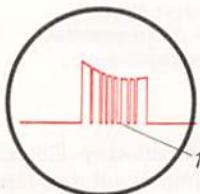


Bild 7.7. Schaltimpuls einer kontaktgesteuerten Armbanduhr mit prellenden Kontaktteilen
1 Kontaktprallung

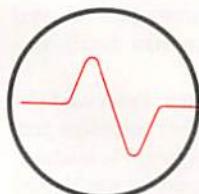


Bild 7.8. Steuerimpuls einer transistorgesteuerten Armbanduhr

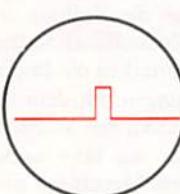


Bild 7.9. Ausgangsimpuls einer quarzgesteuerten Armbanduhr

oder unten. Dabei regelt man den Verstärker so ein, daß sich eine leicht verwertbare Rechengröße ergibt: z. B. 10 Rasterteilungen gleich 1 V.

Nach dem Abschalten der Vergleichsspannung wird am Verstärker nichts mehr verändert und die Prüfspannung angelegt. Durch Auszählen der Rasterteile bis zum Scheitelwert, z. B. 8, läßt sich ermitteln, daß die Scheitelspannung 0,8 V beträgt. Diese Spannungsbestimmung zeigt Bild 7.11.

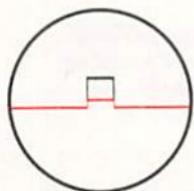


Bild 7.10. Schadhafte Ausgangsstufe einer analog anzeigenden quarzgesteuerten Armbanduhr

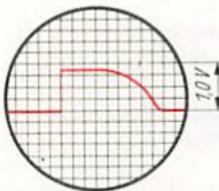


Bild 7.11. Bestimmung der Scheitelspannung eines Impulses

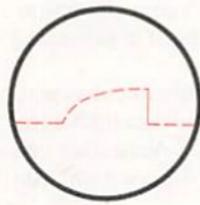


Bild 7.12. Schaltimpuls mit hell-dunkel-gesteuertem Elektronenstrahl zur Bestimmung der Impulsdauer

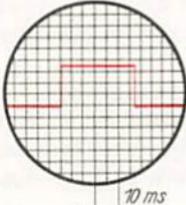


Bild 7.13. Bestimmung der Impulsdauer durch Verwenden der Rastermaske

Beim Einstrahlzosiloskop läßt sich das Bestimmen der Impulsdauer durchführen, indem man den Impuls auf dem Oszilloskop darstellt und den Strahl durch einen Zeitgenerator hell—dunkel steuert.

Die Impulsdauer läßt sich durch Auszählen der Hell-Marken ermitteln. Die Anzahl der Hell-Marken entspricht der Summe ihrer Periodenzeiten. Eine Impulsdauerbestimmung nach dieser Methode ist im Bild 7.12 dargestellt.

Eine Impulsdauermessung läßt sich auch mit der Rastermaske des Oszilloskops durchführen, wenn man die Nulllinie des Oszilloskops vor der Impulsmessung hell—dunkel steuert und den Zeitmaßstab festlegt. Beim Anlegen des Impulses kann man durch Auszählen der Rastermarken die Impulsdauer bestimmen (Bild 7.13).

Frequenzmessungen mit dem Oszilloskop werden durch Anlegen der Prüf- und der Vergleichsfrequenz an den Y- und den X-Verstärker durchgeführt. Dabei entstehen geometrische Figuren, die man nach ihrem Entdecker als Lissajous-Figuren bezeichnet. Bedingung für diese Messungen sind gleich groß eingestellte Ablenkungen für die Y- und die X-Achse.

Bild 7.14 zeigt das Schirmsignal für den Fall, daß die Prüf- und die Vergleichsfrequenz sowohl in ihrem Wert als auch in ihrer Phasenlage übereinstimmen. Bild 7.15 erhält man,

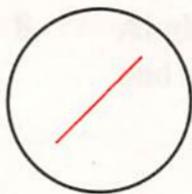


Bild 7.14. Frequenzabgleich bei Über-einstimmung von Frequenz und Phasenlage

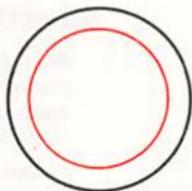


Bild 7.15. Frequenzabgleich mit um 90° verschobener Phasenlage

wenn sich die Phasenlage um 90° von der vorherigen unterscheidet. Für alle dazwischenliegenden Phasenunterschiede ergeben sich schräg liegende Ellipsen.

Bei der doppelten Vergleichsfrequenz erhält man eine liegende Acht, wenn der Phasenunterschied Null beträgt. Bild 7.16 zeigt die Lissajous-Figuren für ein Frequenzverhältnis 3:1 und 3:2.

Das Bestimmen von Impulsdauer und der Frequenzabgleich lassen sich mit einem Zweistrahloszilloskop leichter durchführen. In diesem Fall zeichnet man sowohl die Zeitmarken als auch das Impulsbild direkt und übereinander auf dem Bildschirm auf.

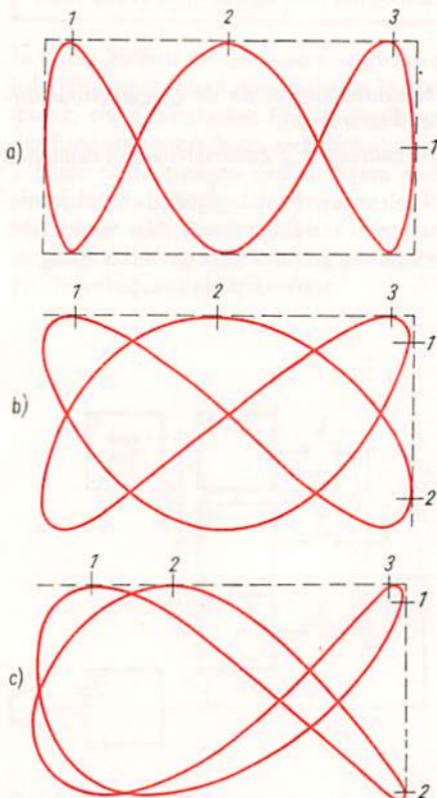


Bild 7.16. Lissajous-Figuren für ein Frequenzverhältnis von a) 3:1, b) und c) 3:2

Um alle häufigen Uhrenfrequenzen prüfen zu können, enthalten Gangkontrollgeräte Quarze mit Nennfrequenzen, die durch unterschiedliche Teilverhältnisse an die jeweils zu prüfende Frequenz angepaßt werden können. Die Teilverhältnisse werden durch Schalter ausgewählt.

Gangkontrollgeräte müssen zur Prüfung einer Uhr eine um mindestens zwei Zehnerpotenzen höhere Genauigkeit haben als der Prüfling. Der Übersichtsschaltplan eines Gangkontrollgeräts ist im Bild 8.1 dargestellt.

8.2. Gangkontrollgeräte zur visuellen Auswertung des Ganges

Gangkontrollgeräte zur visuellen Auswertung des Ganges zeigen den augenblicklichen Gang einer Uhr in Sekunden digital als Zahlenwert an.

Sie eignen sich nur für Uhren, deren Zeitnormal seine Genauigkeit sehr langfristig ändert und keine meßbaren täglichen Abweichungen in Form lagebedingter Gangfehler aufweist. Solche Uhren sind Quarzuhrnen und Stimmgabeluhren. Die Gangdifferenz wird durch Frequenzvergleich ermittelt und die Frequenzdifferenz als Schwingungsdauer in s ausgewiesen. Die Zeitdauer wird durch elektronische Mittel (Analog-Digital-Wandler) in eine Zifferndarstellung umgewandelt.

Um die Genauigkeit der ermittelten Abweichung und des damit verbundenen Abgleichs zu erhöhen, mißt man die Abweichungen über eine längere, einstellbare Zeit und integriert den Wert der Abweichungen. Durch diese Methode eliminiert man Fehlmessungen und Störungen.



Bild 8.2. Gangkontrollgerät mit Mikrofon zur visuellen Gangkontrolle

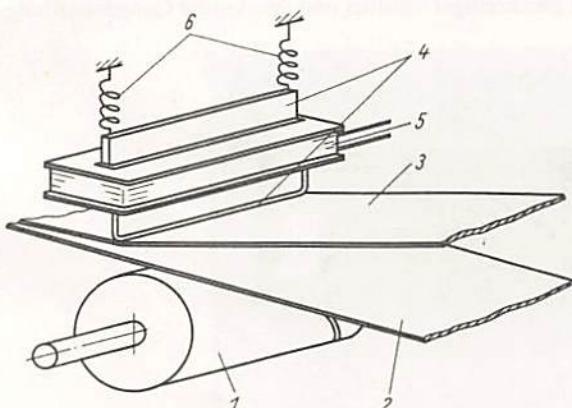
Um das Prüfgerät möglichst universell zu gestalten, versieht man es zusätzlich mit umschaltbaren Spannungsquellen, die die Versorgung des Prüflings mit unterschiedlichen Arbeitsspannungen ermöglichen, um sein Verhalten bei fallender Versorgungsspannung zu ermitteln. Bild 8.2 zeigt ein Gangkontrollgerät mit einem Aufnahmemikrofon.

8.3. Gangkontrollgeräte mit gedrucktem Gangdiagramm

Gangkontrollgeräte mit gedrucktem Gangdiagramm zeichnen den Gang einer Uhr in Form eines Punktstreifens auf.

Jeder Punkt des Diagramms entspricht einem Schlagimpuls des Uhrwerks oder dem Schaltimpuls einer Quarzuhr. Die Abweichung von der Sollfrequenz entspricht einer bestimmten Schräglage des Diagramms auf dem Diagrammstreifen. Diese Gangkontrollgeräte eignen sich besonders für Uhren mit mechanischen und elektrischen Schwingern, die ein Ganggeräusch durch ihr Zeitnormal erzeugen, und ermöglichen ein Beobachten des Gangverhaltens in bezug auf die Bewegung der mechanischen Glieder einer Uhr und deren Lageabhängigkeit. Da das Gangverhalten gespeichert wird, lassen sich die Lagen untereinander vergleichen. Weil man das Verhalten einer Uhr durch Einschalten einer Zeitraffereinrichtung für eine längere Zeit aufzeichnen kann, sind druckende Gangkontrollgeräte für langfristige Gangbeobachtungen besonders geeignet.

In ihrem Aufbau unterscheiden sich diese Geräte von den Geräten mit visueller Ganganzeige. Die Normalfrequenz wird einem Synchronmotor zugeführt, der sich mit einer zeitäquivalenten Drehzahl dreht. Das mit dem Mikrofon von der zu prüfenden Uhr aufgenommene Ganggeräusch wird durch einen Verstärker verstärkt und als Impuls einem Druckbügel zugeführt. Das Diagrammpapier läuft zwischen einer vom Motor angetriebenen mit Schrägverzahnung versehenen Druckwalze, dem Farbband und dem Druckbügel. Stimmen Drehzahl der Walze und Bügelfrequenz überein, so wird eine gerade Punktlinie geschrieben. Weicht die Frequenz nach Plus oder Minus ab, trifft der Fallbügel früher oder später den Zahnkopf der Druckwalze und das mit der Druckwalze zeit-synchron ablaufende Diagrammpapier. Es wird ein schräg verlaufender Punktstreifen aufgezeichnet. Durch Anlegen eines Lineals kann man eine entsprechend geeichte Kreisskale zur Bestimmung der absoluten Zeitabweichung des Prüflings benutzen. Bild 8.3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Druckwerkes, Bild 8.4 ein Gangdiagramm unter einer Kreisskale zur Bestimmung der absoluten Zeitabweichung.



1 Druckwalze mit Spiralkurve;
2 Diagrammpapier; 3 Farbband;
4 Druckbügel; 5 Spule für Elektromagnet; 6 Rückholfeder

Bild 8.3. Aufbau eines Druckwerks zur Darstellung der Gangdifferenz

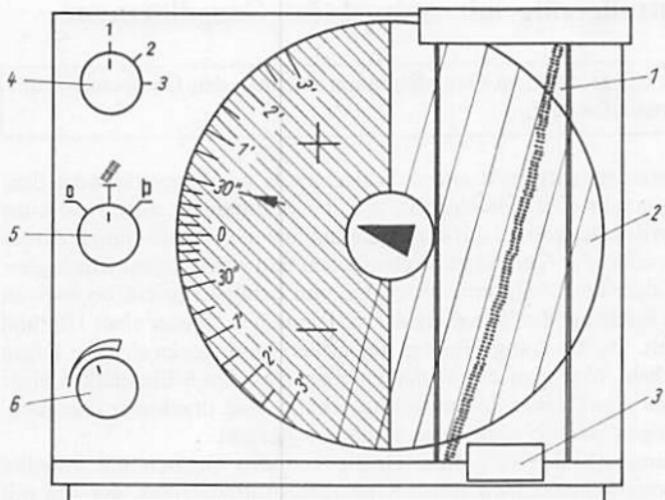


Bild 8.4. Bestimmung der Gangdifferenz durch eine geeichte Kreisskale aus dem gedruckten Gangdiagramm eines Gangkontrollgerätes

1 Druckstreifen für das Gangdiagramm; 2 Einstellscheibe zum Ablesen der Gangabweichung; 3 Transportrolle für den Druckstreifen; 4 Wahlschalter für die Frequenz des Prüflings; 5 Schalter für Drucker und Lautsprecher; 6 Intensitätsregler

Wegen ihres Vorteils, den augenblicklichen Gang einer Uhr auf einem Diagramm abzuspeichern, kombiniert man auch visuelle und druckende Gangkontrollgeräte. In Verbindung mit einer Zeitraffereinrichtung ermöglichen sie das Aufzeichnen eines Gangdiagramms für den Zeitraum von mehreren Stunden oder Tagen und sind in diesem Fall ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung des langfristigen Gangverhaltens einer Uhr.

Beobachtet man mit solchen Geräten Quarzuhrn mit digitaler Anzeige, so ist es erforderlich, die Gangabweichung durch elektronische Mittel so zu verstärken, daß eine Steuerung des Druckers möglich ist. Die Aufzeichnung erfolgt in Sekundenschritten. Bild 8.5 zeigt ein Gangkontrollgerät mit gleichzeitiger visueller und druckender Gangdarstellung.

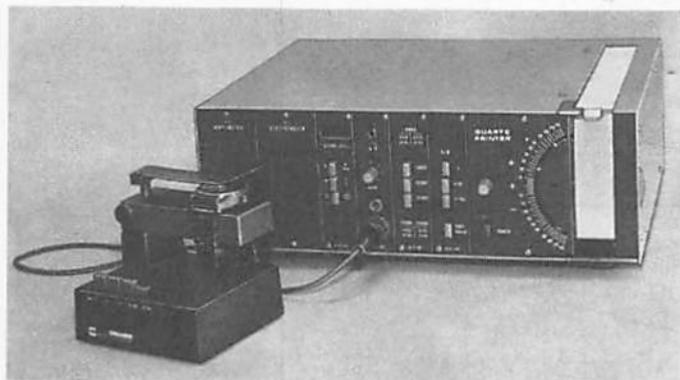


Bild 8.5. Gangkontrollgerät mit gleichzeitiger Ausgabe der visuellen und gedruckten Ganginformation

9. Hinweise für das Instandsetzen elektrischer und elektronischer Uhren

9.1. Instandsetzen elektrischer Uhren

Die Fehlersuche in elektrischen Uhren erfolgt durch Verfolgen des Energieschlusses in der Uhr. Sie beginnt stets bei der Spannungsquelle. Ursachen für das Versagen einer Uhr sind in den meisten Fällen die Baugruppen und Bauelemente

- Energiewandler
- Kontakt
- Umformer.

Sie sind beim Prüfen auf Fehler und Funktionssicherheit genau zu untersuchen.

Jede instandgesetzte Uhr muß mindestens 3 Tage lang beobachtet werden, um Sicherheit über ihre einwandfreie Funktion zu erhalten.

9.1.1. Instandsetzen netzgespeister Uhren

Bei der Instandsetzung von netzgespeisten elektrischen Uhren sind die Schutzvorschriften nach TGL 200-0-602 Bl. 3 einzuhalten. Mit den Arbeiten darf erst nach einer Unfallschutzbelehrung, die im Arbeitsschutzbuch aktenkundig gemacht werden muß, begonnen werden.

Der Arbeitsplatz muß folgende Bedingungen erfüllen:

- Alle Schutzkontaktsteckdosen sind über einen Trenntransformator zu speisen; sie dürfen keinen direkten galvanischen Kontakt zum Netz haben.
- Arbeitstisch und Arbeitsstuhl sind durch Gummifußbodenbelag zu isolieren.
- Ein zufälliges Berühren von Wasser- oder Gasleitungen oder Mauerwerk vom Arbeitsplatz aus darf nicht möglich sein.
- Alle Werkzeuge müssen elektrisch isoliert sein. Die Spannungsfestigkeit der Isolation muß mindestens 5000 V betragen.
- Beim Zerlegen oder Montieren sind elektrische Uhren, die aus dem Netz gespeist werden, grundsätzlich vom Netz zu trennen.
- Vor der Funktionsprobe ist eine Prüfung auf Kurzschlüsse und ordnungsgemäße Verbindungen der elektrischen Leitungen durchzuführen.

Die Funktionskontrolle beginnt am Netzanschluß und folgt dem Spannungspfad. Die Spannungsprüfung wird mit einem Universalmessgerüst im Spannungsmeßbereich 300 V durchgeführt. Dabei erhält man gleichzeitig eine Übersicht über die Übergangswiderstände an den Verbindungsstellen. Unzulässig hohe Übergangswiderstände erkennt man am starken Spannungsabfall hinter der Verbindungsstelle.

9.1.2. Instandsetzen elektrischer Uhren mit galvanischer Spannungsquelle

Vor der Instandsetzung ist die Spannungsquelle auf ihren Entladezustand zu untersuchen. Dazu wird die Spannungsquelle mit einem Lastwiderstand von 5Ω überbrückt und die Betriebsspannung der Zelle mit einem Universalmessgerüst im Meßbereich 1,5 V oder 3 V gemessen.

Erst wenn sicher ist, daß das Versagen der Uhr nicht auf eine entladene Spannungsquelle zurückzuführen ist, wird die Uhr auf mögliche Fehler untersucht.

Nach dem Instandsetzen ist die Funktion der Uhr bei Anlegen der oberen Betriebsspannung (im allgemeinen 1,6 V) und der unteren Betriebsspannung (im allgemeinen 1,1 V) auf einwandfreien Gang zu überprüfen.

Wurde beim Überprüfen des galvanischen Elements festgestellt, daß Elektrolyt ausgetreten ist, muß das Uhrwerk in jedem Fall sorgfältig gereinigt werden. Es sind grundsätzlich alle Steuerkontakte zu reinigen und auf Korrosionsstellen zu untersuchen.

9.1.3. Instandsetzen indirekt angetriebener elektrischer Uhren

Bei der Instandsetzung ist in folgender Reihenfolge vorzugehen:

1. Überprüfen der Kabelanschlüsse durch Kurzschließen mit dem Prüfkabel. Im Fehlerfall Kabel auswechseln.
2. Überprüfen der Steuerkontakte durch Überbrücken oder durch Kontaktbetätigung von Hand.

Im Fehlerfall Kontakte auswechseln oder mit einer Leder- oder Kontaktseife säubern. Nach der mechanischen Reinigung waschen in einer fettlösenden Reinigungsflüssigkeit. Funkenlöselemente wie Widerstände, Kondensatoren oder Dioden auf ihre Fehlerfreiheit untersuchen. Sie sind bei Versagen auszuwechseln. Schadhafte Funkenlöschmittel sind meist die Ursache von Einbrennstellen an den Kontaktlementen.

3. Prüfen des Aufzugmotors durch direktes Verbinden mit der Spannungsquelle. Im Fehlerfall Aufzugmotor auswechseln.

Aufzugmotoren mit schadhaften Lagerungen lassen sich instandsetzen. In diesem Fall müssen neue Lagerschalen aus dem gleichen Lagermetall angefertigt und eingesetzt werden. Zerstörte Wälzlager können ausgewechselt werden. Im Fall einer Wälzlagerreparatur ist das alte Lagerfett durch Auswaschen in Gasolin restlos zu entfernen und durch neues Wälzlagerfett zu ersetzen. Dabei darf das Lager nur etwa zur Hälfte mit Fett gefüllt werden.

Verbrauchte Bürsten müssen ausgewechselt werden. Beim Bürstenwechsel ist gleichzeitig der Zustand des Kollektors zu überprüfen. Die Kollektoren von Motoren für netzgespeiste Uhren lassen sich durch Überdrehen wieder funktionsfähig machen. In diesem Fall wird vom Kollektor so viel abgedreht, bis keine Einlaufriefen mehr feststellbar sind. Danach wird der Kollektor mit feinem Schmirgelleinen geglättet. Bei der Nagelprobe dürfen keine Riesen mehr vorhanden sein, wenn der Bürstenverschleiß gering bleiben soll.

Motoren mit Wicklungsschäden müssen in einer Spezialwerkstatt neu gewickelt werden!

Kollektormotoren dürfen an der Kollektorseite nicht geölt werden, wenn das vom Hersteller nicht ausdrücklich zugelassen wird, da das Öl zu Funktionsstörungen beim Anlaufen des Motors führt.

4. Prüfen des Elektromagneten durch direktes Verbinden mit der Spannungsquelle. Im Fehlerfall Wicklungswiderstand mit einem Widerstandsmesser prüfen.

Beim „Kleben“ des Ankers ist ein Kleblech oder ein Klebnet aus nichtmagnetischem Werkstoff anzubringen. Ferner ist die Lagerung des Ankers auf leichte Gängigkeit zu prüfen. Abgenutzte Schneiden müssen nachgearbeitet oder der Anker muß ausgewechselt werden. Bei jeder Reparatur muß der Abstand zwischen Anker und Magnetjoch nach Herstellervorschrift nachjustiert werden. Gleichzeitig ist die Zugkraft der Rückholfeder zu überprüfen.

Ermüdete Federn werden ausgewechselt.

Nach der Reparatur wird der Elektromagnet mit der unteren Ansprechspannung (0,8 V) und der oberen Ansprechspannung (1,5 V) auf ordnungsgemäße Funktion überprüft.

Schaltkontakte und ihre Lagerung sind nach Abschluß der Reparatur des Elektromagneten auf sicheres Arbeiten zu untersuchen. Im Falle des Klemmens sind sowohl die Klinkenlagerung als auch die Rückholfeder zu untersuchen. Verharztes Öl führt häufig zu Funktionsstörungen. Deshalb sind bewegliche Schaltkontakte auf Abnutzung zu untersuchen und vor dem Zusammenbau der Uhr gründlich zu reinigen und neu zu ölen.

5. Prüfen der Vorspannung der Antriebsfeder.

Im Fehlerfall muß die Antriebsfeder nachgespannt werden. Ermüdete Antriebsfedern sind auszuwechseln. Die Federvorspannung wird so eingestellt, daß die Schwingamplitude der Unruh kurz vor Beginn des Aufzugs noch ausreichend groß ist und im Zustand des Aufzugs der Antriebsfeder kein Prellen auftritt.

6. Dauerprüfung der Uhr.

Die Funktionssicherheit der Uhr und die Gangleistung sind durch eine Dauerprüfung von wenigstens drei Tagen zu sichern. Dabei ist gleichzeitig die Stromaufnahme zu messen und mit dem vom Hersteller vorgeschriebenen Wert zu vergleichen.

9.1.4. Instandsetzen direkt angetriebener elektrischer Uhren

Zur Instandsetzung direkt angetriebener elektrischer Uhren sind spezielle Arbeitsmittel erforderlich.

Benötigt werden:

- antimagnetische Spiralzange
- Universalmesser (Innenwiderstand 20 k Ω /V oder 100 k Ω /V)
- Widerstandsmesser (Wheatstonesche Brücke)
- Mikroprüfspitzenpaar mit Meßschnüren
- Kleinoszilloskop (Impuls- oder NF-Oszilloskop mit Triggermöglichkeit)
- Zeitwaage
- Normalspannungsquelle (frisches Primärelement oder netzgespeistes Stromversorgungsgerät).

Vor Beginn der Reparatur wird die Spannungsquelle aus der Uhr entfernt und, wie in 9.1.2. beschrieben, auf ihren Entladezustand untersucht.

Bei der Demontage von Uhren, deren Antriebssystem mit Dauermagneten arbeitet, werden die Dauermagnete als erstes aus der Uhr entfernt und getrennt von den übrigen Teilen aufbewahrt, um ein unbeabsichtigtes Magnetisieren anderer Teile zu verhindern. Bei der Montage muß auf äußerste Sauberkeit der Magnete geachtet werden, um eine Zerstörung der Spulen durch Stahlspäne, die auf der Stirnfläche der Magnete haften, zu vermeiden.

Bei der Fehlersuche ist folgende Reihenfolge einzuhalten:

1. Prüfen der Stromaufnahme auf die vom Hersteller vorgegebenen Werte.
2. Prüfen des Kontaktbildes mit dem Oszilloskop oder einem oszillografischen Prüfgerät.
Bei einem fehlerhaften Impulsbild oder bei Ausrisen im Impulsdach ist der Kontaktmechanismus zu reinigen oder die Kontakte sind auszuwechseln.
3. Unruh oder Schwingmotor auf einwandfreie Lagerelemente überprüfen. Bei Amplitudenbegrenzungselementen ist deren Leichtgängigkeit zu untersuchen.
Zu ölen ist nur dann, wenn es vom Hersteller eindeutig vorgeschrieben ist.
4. Bei fehlender Stromaufnahme sind Verbindungsleitungen und Strompfade zu verfolgen. Kann kein Fehler festgestellt werden, ist der Schwingermotor auszuwechseln.
5. Nach abgeschlossener Montage ist der Kontakt entsprechend der Herstellervorschrift zu justieren. Durch Einstellen des Zeitpunkts der Kontaktgabe kurz vor Erreichen der größten Amplitude kann eine ausreichend große Schwingamplitude des Schwingermotors eingestellt werden.
6. Nach dem Einsetzen der Spannungsquelle ist die Schwingeramplitude noch einmal zu prüfen und die Uhr mindestens drei Tage zu beobachten.

9.2. Instandsetzen elektronischer Uhren

Zum Prüfen und Instandsetzen elektronischer Uhren ist ein Oszilloskop oder ein oszillografisches Meßgerät Voraussetzung. Fehler in der Elektronik sind mit anderen Prüfmitteln nicht ausreichend sicher zu ermitteln.

Bei allen Prüfgeräten, Arbeitsmitteln und Arbeitsflächen ist auf gute Erdung zu achten. Für Lötarbeiten dürfen nur Niederspannungslötkolben verwendet werden, die durch einen Transformator sicher vom Netz getrennt sind.

Nach Lötarbeiten ist das Flußmittel durch ein Lösungsmittel (Alkohol) wieder von der Leiterplatte abzuwaschen. Durch Feuchtigkeit können hochohmige Kriechstrecken entstehen, die die Funktion der Schaltung beeinflussen.

Transistoren sind beim Aus- und Einlöten mit einer Zange an den Anschlußdrähten festzuhalten, um die Lötwärme abzuführen. Lötkolben nicht länger als zwei Sekunden an der Lötstelle belassen, da sonst Gefahr einer Zerstörung durch Überhitzung besteht.

Reparaturen am Elektronikblock sind bei fehlenden Prüfmitteln nicht vorzunehmen. Die gesamte Baueinheit ist auszuwechseln. Die defekte Baueinheit ist zur Instandsetzung an den Hersteller zurückzugeben.

Spulen der elektromechanischen Wandler dürfen nicht mit scharfkantigen Werkzeugen oder Spiralzangen gefaßt werden, weil die Wicklung beschädigt werden kann.

Bei der Fehlersuche ist in folgender Reihenfolge vorzugehen:

1. Prüfen der Spannungsquelle wie bei 9.1.2.
Bei fehlerhafter Spannungsquelle Uhrwerk auf Kurzschluß prüfen und neue Spannungsquelle einsetzen.
2. Stromaufnahme nach Herstellervorschrift prüfen. Bei fehlender Stromaufnahme durch Verfolgen der Strompfade Ort der Unterbrechung bestimmen. Elektronikteil oder andere schadhafe Baugruppen auswechseln. Vor der Montage Uhrwerk reinigen.
3. Nach der Montage richtige Funktion der Uhr mit dem Oszilloskop überprüfen. Uhrwerk neu abgleichen.
4. Uhr mindestens drei Tage zur Beobachtung der sicheren Funktion prüfen.

9.3. Instandsetzen von Quarzuhrn

Das Instandsetzen von Quarzuhrn erfordert neben den unter 9.4. genannten Meß- und Prüfgeräten Meßgeräte zum Abgleich des Oszillators und zur Bestimmung des Ganges. Ein Abgleich ohne diese Geräte ist nicht möglich. Geeignet sind neben speziellen Quarztimern elektronische Zähler, deren Zeitnormal mindestens 2 Zehnerpotenzen genauer als das des Prüflings ist.

Quarzuhrn dürfen grundsätzlich nur an geerdeten Arbeitsplätzen repariert werden. Auch der Reparateur ist wegen der Gefahr der Aufladung mit statischer Elektrizität durch ein Armband mit Erde zu verbinden.

Die Arbeitskleidung darf nicht aus synthetischen Fasern bestehen. Keine Sitzkissen verwenden, die mit synthetischen Fasern gefüllt oder mit synthetischen Geweben bespannt sind.

Der Prüfling ist auf eine statisch nicht aufladbare Unterlage zu legen. Alle Prüf- und Meßmittel sind zu erden.

Bei der Fehlersuche geht man in folgender Reihenfolge vor:

1. Prüfen der Spannungsquelle wie in 9.1.2. beschrieben.

Bei fehlerhafter Spannungsquelle muß das Uhrwerk auf Kurzschluß geprüft werden.

2. Prüfen der Stromaufnahme nach Herstellervorschrift.

Bei fehlender Stromaufnahme Ort der Unterbrechung durch Verfolgen des Strompfades bestimmen. Unterbrechung durch Auswechseln oder Instandsetzen der Baugruppe beseitigen. Bei zu hoher Stromaufnahme Elektronikbaugruppe gesondert an allen Ausgängen untersuchen. Weicht die Stromaufnahme dieser Baugruppe vom Sollwert ab, ist sie auszuwechseln.

3. Prüfen des Ganges.

Weicht der Gang der Uhr vom vorgeschriebenen Wert ab, ist die Uhr durch Drehen am Trimmer auf den Wert der geringstmöglichen Abweichung zu ziehen. Ist durch Verändern der Trimmerstellung keine Gangänderung erreichbar, sind alle Bauelemente durch vorsichtiges Andrücken mit der Prüfspitze auf sichere Verbindung zu prüfen. Kann keine Änderung erreicht werden, ist der Elektronikblock auszuwechseln. Nicht regulierbare starke Abweichungen deuten auf Fehler am Schwingquarz hin. In diesem Fall ist der gesamte Elektronikblock zu wechseln.

4. Prüfen der Schaltkreisausgänge auf richtige Ansteuerung des Schrittwandlers. Schaltet der Wandler unregelmäßig, sind bei bipolaren Ausgängen beide Anschlüsse mit dem Oszilloskop zu untersuchen. Fehlt ein Impuls, ist der Elektronikblock zu wechseln.

5. Prüfen des Wandlers mittels Durchgangsmessung der Wicklung. Im Fehlerfall Wandler oder Joch mit Spule auswechseln. Alle Teile auf mechanische Fehler untersuchen und fehlerhafte Teile auswechseln.

6. Prüfen des Displays auf vollständige Anzeige.

Im Fall der unvollständigen Anzeige Display leicht mit dem Finger andrücken. Entsteht eine vollständige Anzeige, sind die Gummikonnektoren durch neue zu ersetzen. Tritt keine Änderung ein, ist das Display zu wechseln.

Verändert sich in diesem Fall die fehlerhafte Anzeige nicht, so ist der gesamte Elektronikmodul zu wechseln.

7. Nach der Montage aller Baugruppen ist der richtige Abgleich der Uhr zu prüfen und die Wirkung des Gehäusedeckels durch einen Interimsdeckel, der an der Stelle des Trimmers ein Loch für die Schraubenzieherklinge enthält, zu simulieren. Der Abgleich ist zu wiederholen.

8. Nach Abschluß der Reparatur ist die Uhr mindestens drei Tage auf richtigen Gang zu beobachten.

Quarzsynchronisierte Uhren

Die Reparatur quarzsynchronisierter Uhren erfolgt nach der Reparaturanweisung des Herstellers. Grundsätzlich lassen sich Reparaturregeln aus der Kombination der Fehler suche in elektronischen Uhren und in Quarzuhren herleiten.

Jeder Teilkomplex dieser Uhren muß bei richtiger Funktion unabhängig voneinander arbeiten. Hat man die Gewißheit, daß diese Bedingung erfüllt ist, so kann der Fehler nur in der Kopplung der beiden Teilsysteme liegen.

9.4. Instandsetzen von Uhrenanlagen

Uhrenanlagen enthalten Mutteruhren, die in ihrem Grundaufbau entweder elektrische oder elektronische Uhren sind. Auch Quarzuhren können als Mutteruhren verwendet werden.

Die Reparatur dieser Uhren erfolgt nach den beschriebenen Grobtechnologien für die Instandsetzung dieser Uhren.

Entscheidend für das richtige Arbeiten der Nebenuhren ist die einwandfreie Funktion der Kontakteinrichtung für die Antriebsimpulse. Danach ist in folgender Reihenfolge bei der Fehlersuche vorzugehen:

1. Prüfen der Kontakteinrichtung auf richtige Impulsfolge.
Im Fehlerfall Kontakte reinigen und neu justieren. Verbrauchte Kontakte auswechseln.
2. Prüfen der an kommenden Impulsfolge an der Stelle der Nebenuhr.
Im Fehlerfall Unterbrechungsstelle durch Verfolgen der Leitung und Spannungsprüfung feststellen. Unterbrechung durch Herstellen einer neuen einwandfreien Verbindung beseitigen.
3. Prüfen der Nebenuhr mit einem externen Impulsgeber.
Im Fehlerfall Nebenuhr auf Durchgang prüfen und Unterbrechungen beseitigen. Bei durchgebrannter oder beschädigter Wicklung die Uhr neuwickeln lassen.
4. Prüfen der Dauermagnete auf Alterung. Zu stark gealterte Magnete in einer Spezialwerkstatt neu aufmagnetisieren lassen.

Nach abgeschlossener Reparatur alle Uhren auf die gleiche Zeit einstellen und die Nebenuhren durch Einschalten des Nebenuhrstrangs gleichzeitig und zeitgenau starten.

9.5. Instandsetzen von Signaleinrichtungen

Signaleinrichtungen werden überwiegend von Kontakten gesteuert. Nur bei vollelektronischen Uhren mit digitaler oder quasianaloger Zeitanzeige erfolgt das Auslösen elektronisch.

Nach Prüfen der Spannungsquelle ist daher in jedem Fall nach dem Messen der Stromaufnahme die Kontaktstrecke zwischen der Auslösung und dem Summer oder einer anderen Schallquelle zu untersuchen. Alle Kontakte sind zu reinigen und zu justieren. Danach ist wie folgt vorzugehen:

1. Prüfen der Funktion der Schallquelle durch Verbinden mit einer Normalspannung.

Im Fehlersfall Durchgang prüfen (bei kontaktgesteuerten Schallquellen den Kontakt überbrücken).

Bei vorhandenem Durchgang Anker justieren und Impulsbild auf dem Oszilloskop überprüfen.

Liegt ein fehlerhaftes Impulsbild vor, das durch Nachjustieren nicht verändert werden kann, ist die Schallquelle gegen eine andere, intakte auszutauschen.

Wird die Schallquelle durch eine Impulsfolge aus einem integrierten Schaltkreis angeregt, so ist der Schaltkreisausgang und die auf diesen Ausgang folgende Verstärkerstufe auf Funktion mit dem Oszilloskop zu untersuchen.

Im Fehlersfall ist die gesamte Elektronik auszuwechseln.

2. Nach der Instandsetzung ist die sichere Funktion der Kontakte und der Schallquelle durch mehrmaliges kurz aufeinanderfolgendes Ein- und Ausschalten zu prüfen.
3. Die Uhr ist nach Abschluß der Reparatur wenigstens drei Tage lang auf richtige Funktion zu prüfen.

Sachwörterverzeichnis

- Abgleich 127
Abgleichmittel 193
Ablaufphase 62
Ablesewinkel 151
Allstrommotor 25
alphanumerisches Zeichen 146
Alterung 125
Alterungswert 126
Analoganzeige 79
Analog-Digital-Wandler 194
Anker
 Begrenzungs- 60
 Klapp- 67
 Schalt- 71
Anlaufkondensator 114
Antrieb
 direkter 94
 indirekter 34
 schwingergesteuerter 43
 tonfrequenter 96
Antriebsfeder 67
Antriebsimpuls 110
Anzeige
 Analog- 79
 Digital- 79
 elektrochromatisch 152
 elektronisch 146
 Fallplättchen- 82
 FLAD- 150
 Flüssigkristall- 147
 LCD- 104
 LED- 101
 Leuchtdioden- 151
 lichtdurchlässige 150
 Tages- 101
 Walzen- 80
 Zeiger- 79, 145
 Ziffern- 80
 Anzeigemittel 79, 145
Arbeitsplatz 137
Arbeitstransistor 117
Asynchronmotor 26
AT-Schnitt 122
Aufladevorgang 114
Aufzugimpuls 75
Aufzugmotor 76
Aufzugphase 62, 64
Aufzugsteuerung 65
Aufzugzeit 38
Aufzugzyklus 36
Ausbauchungsfaktor 20
Auslieferungstoleranz 124
Basisspannung 85
Bedienelement 153
Begrenzungskörper 60
Berührungsschalter 154
Berührungstaster 154
Biegeschwinger 119
Binärkode 133
Binärteiler 89, 132
Blei-Schwefelsäure-Element 181
Braunstein-Zink-Element 177
Chip 88
CMOS-Schaltung 144
CMOS-Technik 91, 134
CMOS-Teilerschaltkreis 134
cur-off-Spannung 174
Dauermagnetsystem 56
Day-Date-Einrichtung 168
Dekodierschaltkreis 101, 145
Dekodierschaltung 144
Dickenscherungsschwinger 126
Dielektrikum 92
Digitalanzeige 79
digitale Schaltung 88
Digital-Wandler 194
Digitron 101
DIL-Gehäuse 135

- Diode
 Leucht- 101
 Light emitting 101
 diskrete Schaltung 88
 Display 151
 fluoreszenz-aktiviertes 150
 LCD- 147
 liquid cristal 101
 Ziffern- 151
 Dotieren 85
 Dotierungszone 85
 Drain 92
 Drehankerrelais 75
 Dreheisenmeßwerk 13
 Drehmomentkennlinie 24, 78
 Drehschwinger 55
 Drehschwingerantrieb 54
 Drehschwingerschaltung 114
 Drehschwingertyp 58
 Drehspule 13
 Drehzahl 26
 Drucktaster 157
 DSM-Zelle 147
 dual in linie 135

 Edelmetallmagnet 22
 Eingangswiderstand 92
 Einrichtung
 Day-Date- 168
 Programmgeber- 169
 Programmier- 160
 Repetier- 163
 Signal- 156
 Einschaltgenauigkeit 163
 Einspulenantrieb 116
 Einspulenschaltung 116
 Einstelldrücker 154
 Einstelltaster 154
 Elektrizitätsmenge 38, 41, 44
 elektrochromatische Anzeige 152
 Elektromagnet 18, 74
 Elektromagnetaufzug 39, 66
 Elektromotor 22
 Elektronenstrahlröhre 186
 Element
 Bedien- 153
 Blei-Schwefelsäure- 181
 Braunstein-Zink- 177
 galvanisches 172
 Leak-Proof- 177

 Nickel-Cadmium- 183
 Primär- 173
 Quecksilberoxid- 179
 Sekundär- 181
 Silberoxid- 180
 Umformer- 68, 129
 Energieaufnahme 101
 Energiebedarf 37
 Energiequelle 172
 Energiewandler 99, 137
 Entladekennlinie 174
 Entladeverhalten 174
 Entladeverlauf 174
 Entmagnetisierungskurve 19, 22

 Fallplättchenanzeige 82
 Federkennlinie 35
 Feld, magnetisches 16
 Feldeffekt 147
 Feldeffekttransistor 92
 Feldstärke 16
 Feldstärkemesser 17
 Flächenkontakt 31
 FLAD-Anzeige 150
 Flipflop 132
 Flipflop-Schaltung 164
 Fluoreszenz-aktiviertes Display 150
 Flüssigkristall 101, 148
 Flüssigkristallanzeige 101, 147
 Flüssigkristallzelle 147
 Flußdichte 17
 Folie 148
 Fortschaltgetriebe, magnetisches 131
 Fortschaltklinke 70
 Frequenz 48, 98, 110
 Grund- 110
 Nenn- 96, 110, 121
 Netz- 49
 Quarz- 93
 Standard- 123
 Ton- 160
 Frequenzbereich 123
 Frequenzmessung 190
 Frequenznormal 51, 113
 Frequenzteiler 124
 Frequenzteilung 88
 Führungsschiene 73

 galvanisches Element 172
 Gangkontrollgerät 193

- Gangleistung 35
 Gegenfeldstärke 19
 Gleichstromkleinstmotor 77
 Gleichstrommotor 23
 Grundfrequenz 110
 Grundgröße, elektrische 12
 Gütefaktor 125

 Hauptschlußmotor 25
 Hauptstrommotor 23

 Impuls
 Antriebs- 110
 Aufzug- 75
 Impulsbild 113
 Impulsformer 89
 Impulsstrom 44
 Impulsverstärker 90
 Induktion 17
 Induktionskonstante 17
 Instandsetzen 197
 Integrated Injektion Logik 91
 integrierte Schaltung 88
 Inverter 93
 I²L-Technik 91

 Kapazität 37
 Kennlinie
 Drehmoment- 24
 Feder- 35
 Klappanker 67
 Klappankermagnet 75
 Koerzitivfeldstärke 75
 Kondensator
 Anlauf- 114
 Polarisations- 114
 Kontakt
 Flächen- 31, 33
 Punkt- 31
 Schalt- 28, 30
 Schiebe- 31
 Schutzrohr- 33
 Sprung- 31
 Kontaktanordnung 31
 Kontaktbelastung 33
 Kontakt einrichtung 58
 Kontaktkorrosion 28
 Kontakt schaden 28
 Kontaktsteuerung 64
 Kontakt verschmutzung 29

 Kontakt werkstoff 29
 Korrosion 28

 Ladeeinrichtung 171
 Lastkapazität 124
 Laufgeräusch 78
 LCD-Anzeige 104, 134, 152
 Leak-Proof-Element 177
 LED-Anzeige 101, 104, 134
 Leistungsbedarf 32
 Leuchtdiode 101, 151
 Leuchtdiodenanzeige 151
 lichtdurchlässige Anzeige 150
 liquid cristal display 101
 LSI-Schaltkreis 101

 Magnet
 Edelmetall- 22
 Elektro- 18
 Klappanker- 75
 Permanent- 19
 Seltenerd- 22
 Tauchspul- 74
 Magnetisierungskurve 19
 Meßinstrument 13
 Miniflat-Pack-Gehäuse 136
 MOS-FET 92
 Motor
 Allstrom- 25
 Asynchron- 63
 Elektro- 22
 Gleichstrom- 23
 Gleichstromkleinst- 77
 Hauptschluß- 25
 Hauptstrom- 23
 Nebenschluß- 24
 Nebenstrom- 25
 Synchron- 25
 Wechselstrom- 25
 Motoraufzug 36, 63
 Motorsteuerung 62

 Nebenschlußmotor 24
 Nebenstrommotor 25
 Nennfrequenz 96, 110, 121
 Netzfrequenz 49
 Neun-Segment-Ziffer 147
 Nickel-Cadmium-Element 183

- Ohmsches Gesetz 11
 Oszilloskop 185
 Oszilloskopeinsatz 188
 Parallelresonanz 124
 Pendel 51
 Pendeltyp 54
 Pendelmotor 94
 piezoelektrischer Effekt 121
 piezoelektrischer Schwinger 121
 piezokeramischer Schwinger 160
 Permanentmagnet 19
 Permeabilität 18
 Polarisationsfolie 149
 Polarisationskondensator 114
 Primärelement 173
 Programmgebereinrichtung 169
 Programmgeberschaltung 169
 Programmreinrichtung 160
 Punktkontakt 31
 Quarzfrequenz 93
 Quarzoszillator 127
 Quarzschnitt 122
 Quarzschwinger 122
 Quarzuhr 98
 Quarzuhr-Aufbau 102
 Quecksilberoxid-Element 179
 Rädergetriebe 130
 Radioschaltuhr 170
 Regenerierschaltung 171
 Repetiereinrichtung 163
 Resonanzwiderstand 124
 Rotor 23
 Schallquelle 156
 Schaltanker 71
 Schalter 28
 Schalter, elektronischer 113
 Schaltkontakt 28, 30
 Schaltkreis, bipolarer 90
 Schaltmatte 154
 Schaltrad 69
 Schaltung
 digitale 88
 integrierte 88
 Programmgeber- 169
 Schlummer- 170
 Zeigerschnellkorrektur- 166
 Schaltweiche 73
 Schiebekontakt 30
 Schrittschaltgetriebe 69, 130
 Schrittsteller 138, 141
 Schutzrohrkontakt 33
 Schwinger 88
 Biege- 88
 Dickenscherungs- 126
 Dreh- 55
 piezoelektrischer 121
 piezokeramischer 160
 Quarz- 123
 Schwingquarz 124
 Schwingungsart 125
 Sekundärelement 181
 Seltenerdmagnet 22
 Sieben-Segment-Ziffer 147
 Signaleinrichtung 156
 Solarzelle 171
 Spaltmotor 76
 Spannung 11
 Spannungsmesser 14
 Spannungsquelle 172
 Spannungsreihe 173
 Spannungsstabilisierung 115
 Sprungkontakt 30
 Standardsfrequenz 123
 Stator 23
 Steuerung, elektronische 164
 Stimmgabelschwinger 96
 Stimmgabeluhr 120
 Stoßempfindlichkeit 125
 Strom 11
 Stromaufnahme 41, 101
 Strommesser 13
 Stromstärke 11
 Summer 102
 Synchronmotor 25
 Tagesanzeige 101
 Taster
 Druck- 153
 Einstell- 154
 Tauchankeruhr 66
 Tauchspulmagnet 74
 Teilerschaltung 133
 Temperaturumkehrpunkt 125
 Temperaturkoeffizient 125
 Tonfrequenz 160
 Transistor 84

- Transistoreigenschaft 86
Transistorgrundschaltung 86
Transistorkenndaten 86
Transistor-Kennlinienfeld 87
Triebgewicht 67
Trimmen 127
Trimmer 127
- Übersetzungsverhältnis 36
Uhr, elektronische 84
Umformerelement 68, 129
Unruhmotor 95
- Verstärker 127
Vielfachmesser 14
- Wafer 91
Walzenanzeige 80
Wandler
 Analog-Digital- 194
 elektromechanischer 138
 elektronischer 144
Wechselstrommotor 25
Weckeinrichtung 102
Widerstand 11
Widerstandsmesser 15
- Winkelschritt 142
Wirbelstrombremse 95
- X-Verstärker 185
Y-Verstärker 185
- Zeigeranzeige 79, 145
Zeigerschnellkorrektur 146
Zeitablenkgerät 185
Zeitanlage 49
Zeitnormal 48
Zeitzeichenempfänger 50
- Zelle
 DSM- 147
 Flüssigkristall- 147
 Solar- 171
- Zellenaufbau 177
Zellenkapazität 37
Zellentyp 176
- Ziffer
 Neun-Segment- 147
 Sieben-Segment- 147
- Ziffernanzeige 80
Zifferndisplay 151
Zusatzeinrichtung 166
Zweispulenantriebsschaltung 115