

Die Synchronuhren

Von

Oberingenieur F. Thiesen

**Elektrische Uhren
und Uhren
für technische
Zwecke**

Band II

Elektrische Uhren
und Uhren für technische Zwecke

Band II

Die Synchronuhren

und andere frequenzgesteuerte Uhren

Ihre Bauart, Pflege und Instandsetzung

Von O b e r i n g e n i e u r F. T h i e s e n

Mit 88 Abbildungen

B e r l i n 1937

Verlag der Deutschen Uhrmacher-Zeitung
Deutsche Verlagswerke Strauß, Vetter & Co.

Alle Rechte, insbesondere dasjenige der Übersetzung in fremde Sprachen vorbehalten

Nachdruck von Text und Abbildungen verboten

Copyright

by

Deutsche Verlagswerke Strauß, Vetter & Co., Berlin 1937

Druck von A. Seydel & Cie. G.m.b.H., Berlin SW 61

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Vorwort	5
II. Die Synchronuhr	
1. Das Prinzip des Synchronmotors	7
2. Frequenzabhängigkeit und Zeitmessung	12
3. Frequenzregulierung und Zeitgenauigkeit	13
4. Die Synchronmotoren	19
a) Anwerfmotoren und Selbstanläufer	19
b) Der Anwerfmotor — Allgemeines über seine Bauart	19
c) Bauart und Arbeitsweise der Selbstanläufer	21
5. Die Synchronuhren mit Anwerfmotoren	28
a) Motordrehzahl und Übersetzung	28
b) Das Laufwerk	28
c) Der Rotor und seine Lagerung	30
d) Die Schwungscheibe	31
e) Kraftmoment und Anlaufmoment	32
f) Magnetische Nebenschlüsse	33
g) Motorgeräusche	33
h) Die Anwerfvorrichtung	34
i) Zeigerwerk und Zeiger	35
6. Die Synchronuhren mit Selbstanläufer	37
7. Betrieb mit Anwerfmotor oder mit Selbstanläufer?	38
8. Betrieb ohne oder mit Gangreserve?	41
9. Elektrizitätswerke mit Frequenzregulierung	43
10. Die Konstruktionen	48
a) Gehwerke (AEG, Assa, Flume-Lehruhr, Heliowatt, Jauch & Schmid, Junghans, Kieninger & Obergfell, Kienzle, Mauthe, Michl, Peter, Siemens, Speck, Telephonbau und Normalzeit)	48
b) Synchron-Schlagwerkuhren (Mauthe, Junghans)	63
c) Synchronuhren mit Weckvorrichtung (Heliowatt, Jauch & Schmid, Mauthe, Siemens)	71
d) Signaluhren	80

e) Uhren mit Gangreserve (AEG, Mauthe, Assa, Kienzle, Ato, Zachariä)	80
f) Nachstellvorrichtungen für gangreservelose Synchronuhren	93
11. Der Stromverbrauch und sein Einfluß	95
12. Die Verbrauchsmessung	98
13. Prüfung auf Betriebssicherheit	105
14. Prüfung auf Frequenzhaltung	107
15. Vorführung mittels Gleichstrom	108
16. Die Reparatur der Synchronuhren	109
a) Der Motor	109
b) Das Laufwerk	109
c) Die Spule	110
d) Das Ölen	110
e) Sondervorrichtungen (Synchronwecker, Gangreserve-Synchronuhren)	110
f) Das Zusammensetzen	112
17. Anschluß an Starkstrom und an Schwachstrom	115
18. Gefahren des Starkstromes und Installationsbestimmungen	117
19. Sonstige Anwendungsarten des Synchronmotors als Zeitregler	120
III. Der Uhrenbetrieb mittels tonfrequenter Wechselströme (Tel-System)	122
IV. Der drahtlose Uhrenbetrieb durch hochfrequente Wechselströme (Schneider-System)	125
V. Die drahtlose Einstellung der Uhren durch drahtlose Zeitzeichen (Junghans, Ato-Radiola, Siemens)	128
VI. Die Zeitverteilung durch Bildübertragung	135
VII. Die Quarzuhr	136
VIII. Die Synchronuhr von heute und morgen	138
Anhang:	
1. Die Sinusform des Wechselstromes	139
2. Phasenverschiebung im Wechselstromkreis	143
Stichwort- und Namenverzeichnis	148

I. Vorwort

Der Wechselstrom beherrscht mehr und mehr die elektrische Kraft- und Lichtversorgung; die elektrischen Geräte werden auf ihn umgestellt, und viele technische Gebiete sind ihm neu erschlossen worden. Das volkstümlichste Gerät, der Radioapparat, wäre ohne Wechselstrom nicht vorhanden; neuzeitliche Wirtschaft und moderner Verkehr sind an Niederfrequenz, Tonfrequenz (Mittelfrequenz) und Hochfrequenz gebunden. So hat auch die Uhrentechnik sich auf den Wechselstrom eingestellt und von ihm außerordentlich starke Anregungen erfahren, deren Auswirkungen noch kaum zu überblicken sind. Vor allen Dingen wurde die Synchronuhr geschaffen als eine billige Uhr mit hoher Gangleistung für den bürgerlichen Gebrauch. Der Wissenschaft wurde die Quarzuhr beschert, die vielen Forschungsarbeiten eine starke Stütze bildet. Ferner sind Uhren zum Betrieb durch tonfrequente und durch hochfrequente Wechselströme gebaut worden; man hat sogar die Bildübertragung der Zeitverteilung dienstbar zu machen versucht.

Der vorliegende Band soll dem Fachmann ein Berater auf dem neuen Gebiete der frequenzgesteuerten Uhren sein; er ist das erste Buch seiner Art. Ich habe mich bemüht, den Leser ohne Voraussetzung mathematischer Kenntnisse in die Technik der von Wechselströmen angetriebenen Uhren einzuführen wie auch die Konstruktionen nebst ihrer Wirkungsweise leichtverständlich zu behandeln. Beurteilung, Verkauf und Reparatur der Synchronuhren setzen besondere elektrotechnische Kenntnisse voraus, die vor allem von dem jüngeren Fachmann gefordert werden müssen, und die in den kommenden Meisterprüfungen voraussichtlich nachzuweisen sein werden. Das Sichaneignen dieser Sonderkenntnisse wird seine guten Früchte tragen; denn zweifelsohne werden die Synchronuhren eine außergewöhnlich starke Verbreitung finden, bedingt durch ihren niedrigen Preis und ihre hohe Gangleistung.

Der bescheidene Umfang meines Buches gestattet es nur in wenigen besonderen Fällen, auf die Grundgesetze der Wechselstromtechnik einzugehen. Diesbezüglich verweise ich auf die beiden Bücher von Dr. Kessel dorfer „Grundbegriffe der Elektrotechnik“ und „Praktische Elektrotechnik“ (Deutsche Verlagswerke Strauß, Vetter & Co., Berlin SW 68), die über alle vorkommenden Fragen in leichtverständlicher Weise Aufschluß geben. Wer sich außerdem über die Besonderheiten des Vertriebes der elektrischen Uhren gut unterrichten will, sei auf das im gleichen Verlag erschienene Werk von Diplomkaufmann

A. E i f e r t „Verkauf technischer und elektrischer Uhren und Uhrenanlagen“ hingewiesen.

Den herstellenden Firmen spreche ich meinen Dank aus für die bereitwillige Überlassung von Prospekten und Versuchswerken. Die Deutsche Uhrmacher-Zeitung hat mich besonders unterstützt durch die Bereitstellung der vielen aus der Feder ihres Schriftleiters Dr.-Ing. B a l t z e r sowie von Dr. K e s s e l d o r f e r stammenden Arbeiten. Die Schriftleitung der genannten Zeitschrift war mir tatkräftig behilflich durch eine sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit, und der Verlag hat meine Wünsche hinsichtlich der Ausstattung des Buches gerne erfüllt. Allen diesen Mitarbeitern spreche ich hiermit meinen Dank aus.

So übergebe ich nunmehr der Fachwelt diesen Band mit der Bitte, für spätere Auflagen mich durch Verbesserungsvorschläge und Anregungen unterstützen zu wollen.

Höchberg-Würzburg, Oktober 1937.

Der Verfasser

II. Die Synchronuhr

1. Das Prinzip des Synchronmotors

Jeder normale Gleich-, Wechsel- oder Drehstrommotor ist hinsichtlich seiner **Drehzahl** abhängig von der zugeführten Spannung und von der eigenen Belastung. Eine Spannungserhöhung verursacht allgemein eine Erhöhung der Drehzahl, eine Belastungszunahme dagegen eine Drehzahlminderung. Wechsel- und Drehstrommotoren sind in bezug auf ihre Leistung außerdem noch durch die **Frequenz** (Anzahl der Perioden in der Sekunde) beeinflusst; eine Frequenzerhöhung bedingt Verminderung, eine Frequenzabnahme ein Ansteigen der maximalen Motorleistung.

Frequenz und synchrone Drehzahl

Ganz anders verhalten sich dagegen die Synchronmotoren, die **nur in Wechsel- und Drehstromnetzen verwendbar** sind. Diese sind in ihrer Drehzahl nur von der Periodenzahl oder der Frequenz abhängig. Bleibt die Frequenz des Wechselstromes konstant, das heißt, laufen die stromerzeugenden Dynamomaschinen mit **stets gleichbleibender Geschwindigkeit** um, so ist die Drehzahl eines jeden Synchronmotors genau so gleichbleibend. Würde sich andererseits die Drehzahl eines Drehstromgenerators beispielsweise plötzlich von 3000 Umdrehungen/min auf 2700 vermindern, also um $100 - \frac{2700 \times 100}{3000} = 10\%$ geringer sein, so würde ein in dem Netz

laufender Synchronmotor, der normalerweise, also bei der Generator-drehzahl von 3000, in der Minute z. B. 200mal umläuft, seine Geschwindigkeit auch um 10 % vermindern und nur noch

$$\frac{90 \times 200}{100} = 180 \text{ minutliche Umdrehungen}$$

machen. Diese „synchrone Drehzahl“ wird von dem Motor unbedingt genau eingehalten; auch die geringste Abweichung von ihr ist unmöglich. Wird der Synchronmotor zu stark belastet, so „fällt er aus dem Tritt“; er bleibt plötzlich stehen, ohne vorher seine Drehzahl geändert zu haben. Wir wollen feststellen, wie das Drehmoment und die synchrone Drehzahl zustande kommt.

Wenn nach Abbildung 1 ein Magnetpol *a* des durch Gleichstrom erregten Rotors einer

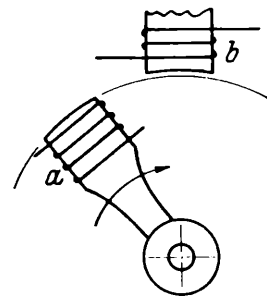


Abb. 1. Entstehung der Stromstöße in Wechselstrom-Generatoren

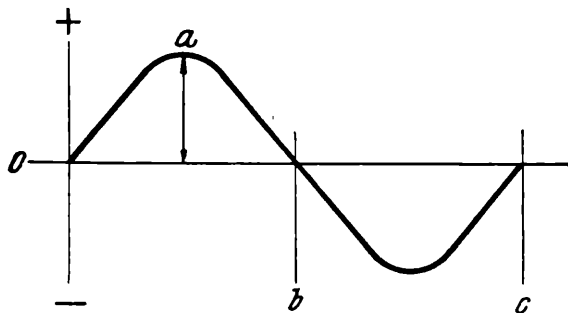


Abb. 2. Sinusförmige Wechselstromkurve

Wechselstrom- oder Drehstromdynamomaschine sich einer Spule b des Stators nähert, so wird nach dem Gesetz der gegenseitigen Induktion in dieser Spule ein elektrischer Stromstoß induziert. Dieser Stromstoß beginnt sowohl mit seiner Spannung wie mit seiner Stromstärke mit dem Werte Null; er ist am größten,

wenn der Pol a sich genau unter der Spule b befindet, um dann mit zunehmender Entfernung genau so abzufallen, wie er bei der Annäherung angestiegen ist. Der Verlauf jedes einzelnen der schnell aufeinanderfolgenden Stromstöße ist durch eine Kurve nach Abbildung 2 dargestellt. Der Strom beginnt auf der Nulllinie, erreicht bei a seinen „Scheitelwert“ und fällt wieder auf Null ab. Der von Null bis b verlaufende Stromstoß hat positive Richtung, der ihm folgende nächste Stromstoß b — c verläuft dagegen in negativer Richtung. Der einzelne Stromstoß wird „Wechsel“ genannt, zwei aufeinanderfolgende, also 0 — b und b — c , setzen sich zu einer „Periode“ zusammen.

Die in einer Sekunde fließende Anzahl der Perioden bilden die „Frequenz“. Bei der in Europa üblichen Frequenz von 50/Sek. entstehen also in der Sekunde 100 Wechsel, die regelmäßig ihre Polarität wechseln. Wenn einerseits der „Rotor“ (Läufer, d. h. der umlaufende Teil der Maschine im Gegensatz zum „Stator“, dem feststehenden Teil) des Generators mit gleichmäßiger Geschwindigkeit umläuft, und wenn andererseits die

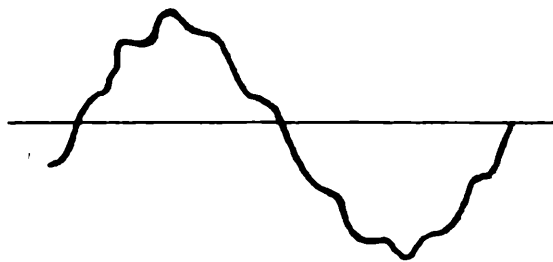


Abb. 3. Verzerzte Wechselstromkurve

Bildung der Stromstöße nicht durch mangelhafte Nutung des Stator-eisens oder mangelhafte Verteilung der Spulen auf den Umfang des Stators gestört ist, so entsteht ein „sinusförmiger“ Wechselstrom, dessen Kurve gleichmäßig ansteigt und abfällt und nicht „verzerrt“ ist, wie etwa die nach Abbildung 3. Ein verzerrter Wechselstrom von mangelhafter Sinusform hat für kleine Synchronmotoren die Bedeutung, daß er in ihnen Brummgeräusche entstehen läßt.

Die Entstehung des Drehmoments

Die Abbildung 4 zeigt die einfachste Form eines zweipoligen Synchronmotors. Wie jeder gewöhnliche Synchronmotor, so läuft auch dieser nicht selbsttätig an, aber nach dem Anwurf durch fremde Kraft bleibt er im Lauf und kann Arbeit leisten. Durch das Anwerfen muß ihm eine Drehzahl gegeben werden, die mindestens ebenso groß ist wie die ihm zukommende synchrone Drehzahl.

Die vier dargestellten Ankerstellungen der Abbildung 5 stehen in Abhängigkeit zu vier bestimmten Werten der Stromstärke einer Halbperiode, also eines Wechsels. Diese Werte, „Phasen“ der Stromstärke, sind durch je einen Strich an den rechtsseitigen Stromkurven markiert. Für die folgende Betrachtung müssen wir annehmen, daß der Anker des Systemes, in diesem Falle der Rotor des Motors, durch fremde Kraft in Bewegung gesetzt wurde, also angeworfen worden ist.

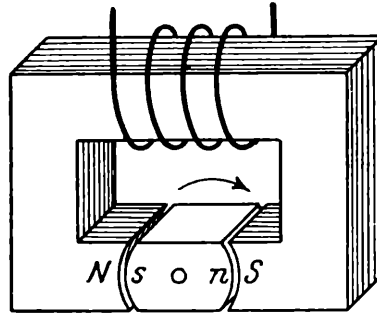


Abb. 4. Zweipoliger Synchronmotor

In der Rotorstellung *I* ist die Stromstärke gleich Null; der Rotor erhält also weder einen Antrieb noch einen Gegentrieb, er muß durch seine Schwungkraft weiterlaufen, und zwar in der Pfeilrichtung. In der Stellung *II*, die der Zeit T' nach um $\frac{1}{8}$ des Verlaufs einer Periode, bei der Frequenz 50/Sek. also um $\frac{1}{50 \times 8} = \frac{1}{400}$ Sekunden später liegt, ist dann die Stromstärke gleich $\frac{7}{10}$ ihres Höchstwertes, wie ebenso in der Stellung *IV*; dagegen hat sie in der Stellung *III* ihren Maximalwert.

In der Stellung *I* besteht kein Drehmoment, weil die Stromstärke gleich Null ist, in der Stellung *II* ebenfalls nicht, weil die beiden Rotorpole von den beiden Erregerpolen mit gleichen Kräften angezogen werden. Dagegen wandert der Rotor in den Zwischenstellungen zwischen *II* und *III* nach rechts mit einem verhältnismäßig hohen Drehmoment, weil erstens beide Rotorpole sich beiden Erregerpolen nähern, und weil zweitens die Stromstärke von $\frac{7}{10}$ auf $\frac{10}{10}$ ihres Höchstwertes ansteigt. In der Stellung *II* setzt also ein ruckweises Entstehen eines kräftigen Drehmomentes ein. In den Ankerlagen zwischen den Stellungen *III* und *IV* findet ebenfalls Anziehung in der Drehrichtung statt, und zwar mit gleicher Kraft, aber dem Unterschied, daß die Stromstärke jetzt um soviel abfällt, wie sie vorher anstieg. In der letzten Phase zwischen *IV* und *I* arbeitet das Drehmoment der Drehrichtung entgegen, aber es ist schwach, weil die Stromstärke auf Null absinkt. Somit ergeben sich für eine halbe Rotorumdrehung folgende ihn beeinflussende Kräfte:

		(Mittelwerte)
Zwischen I und II schwacher Gegentrieb,	$i = 0 - 0,7 =$	$- 0,35$
Zwischen II und III starker Vortrieb,	$i = 0,7 - 1 =$	$+ 0,85$
Zwischen III und IV starker Vortrieb,	$i = 1 - 0,7 =$	$+ 0,85$
Zwischen IV und I schwacher Gegentrieb,	$i = - 0,7 - 0 =$	$- 0,35$
		$+ 1,70 - 0,70$

Während jeder halben Rotordrehung entsteht somit ein auf die vier Zeitphasen verteiltes mittleres Drehmoment entsprechend $(1,70 - 0,70) : 4 = 0,25$ der maximalen Stromstärke, die sich quadratisch auf die magnetisierende Kraft auswirkt. Da diese Triebkraft in der Phase II—III

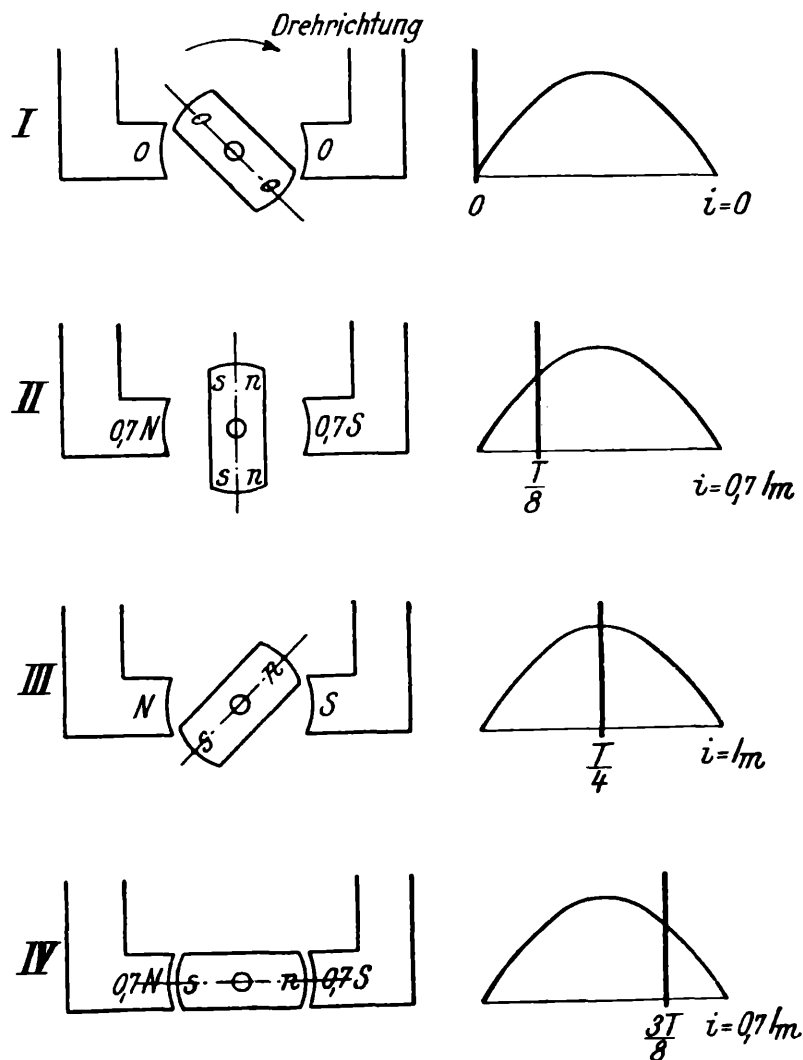


Abb. 5. Entstehung des Drehmoments in verschiedenen Stromphasen

ruckweise einsetzt und der Rotor bei jeder Umdrehung Teilstrecken mit Gegentrieb und auch ohne Antrieb durchlaufen muß, so ergeben sich für den Synchronmotor mit kleinsten Ausmaßen folgende Arbeitsbedingungen:

Arbeitsbedingungen des einfachen kleinen Synchronmotors

1. Er muß durch fremde Kraft auf eine Drehzahl gebracht werden, die in dem Zeitmoment, wenn Rotorstellung und Stromphase *II* oder *III* im Synchronismus sind, gleich seiner synchronen Drehzahl ist.

2. Damit die Bedingung zu Punkt 1 erfüllbar wird, muß die Anwerfgeschwindigkeit eine größere sein, um dem Rotor Zeit zu lassen, möglichst langsam in die synchrone Drehzahl einfallen zu können.

3. Der Rotor bedarf einer regulierenden Schwungmasse, die auf seiner Achse mit leichter Reibung drehbar ist. Sie verlangsamt das Abfallen der abnehmenden Anwerfgeschwindigkeit und begünstigt damit das Einfallen in den Synchronismus. Ohne sie gelingt es erst nach vielen Versuchen, den Synchronismus herzustellen. Diese Schwungmasse muß deshalb mit leichter Reibung drehbar auf der Welle sein, damit das ruckweise Einfallen in den synchronen Lauf ohne augenblickliche Mitnahme der Schwungmasse erfolgen kann.

4. Der Rotor läßt sich nach Wahl in eine beliebige der beiden Drehrichtungen anwerfen, weil die beiden Teildrehmomente der Stellungen *II* und *III* gleich groß sind und nebeneinander liegen.

Die synchrone Drehzahl des Motorläufers ergibt sich aus der Überlegung, daß im Zeitraum eines Wechsels an jedem Erregerpol ein Läuferpol einmal vorbeikommen muß, wie es die Abbildung 5 lehrt. Der zweipolige Rotor nach Abbildung 4 wird also bei der Frequenz 50/Sek. eine Drehzahl haben von $50 \times 1 = 50$ in der Sekunde und von $50 \times 1 \times 60 = 3000$ in der Minute.

Versieht man den Rotor mit mehr als zwei Polen, so sinkt dadurch seine Drehzahl, weil dann im Verlauf eines Wechsels mehr als einer der Pole an einem Erregerpol vorbeilaufen. Bezieht man die Drehzahl auf die Periode, so gilt der Satz, daß in jeder Periode an jedem Erregerpol zweimal ein Läuferpol vorbeikommen muß. Ein vierpoliger Läufer hat somit eine Drehzahl von $\frac{50 \times 2 \times 60}{4} = 1500$ und ein n -poliger eine solche von $\frac{50 \times 2 \times 60}{n}$.

So sind für den Uhrenbetrieb vielpolige Motoren entstanden, deren Drehzahl bis auf 150/min zurückgeschraubt worden ist.

2. Frequenzabhängigkeit und Zeitmessung

Nachdem der Erfindergeist das Problem aufgegriffen hatte, die Frequenz des Wechselstromes für die Zeitmessung zu verwerten, wurden kleinste Synchronmotoren entwickelt, die vor allen Dingen geräuschlos arbeiten und dabei eine hohe Betriebssicherheit aufweisen. Diese Motoren wurden mit einem Laufwerk gekuppelt, das die hohe Rotordrehzahl ins Langsame übersetzte und auf eine Welle übertrug, die in der Stunde eine Umdrehung macht. Durch die Verbindung dieser Minutenwelle mit einem Zeigerwerk war dann die Synchronuhr geschaffen.

Diese Konstruktion eines Zeitmessers ist dadurch technisch besonders günstig, daß die sehr geringe Kraft eines Kleinstmotors durch die **h o c h e Ü b e r s e t z u n g i n s L a n g s a m e** an der Minutenwelle eine **g r o ß e K r a f t** entstehen läßt, die lange, schwere Zeiger anzutreiben gestattet. Hat beispielsweise ein solcher kleiner Motor eine Drehzahl von 200/min, so muß zwischen ihm und die Minutenachse eine Übersetzung von 1 zu $200 \times 60 = 12\,000$ gelegt werden. Besteht dann an der Läuferachse eine Kraft von nur 2 cmg, so steigt sie an der Minutenachse an auf $2 \times 12\,000$ (abzüglich eines Reibungsverlustes von angenommen 5 %) = 23 000 cmg. Demgegenüber besteht an der Minutenradachse einer guten vollplatinigen Wanduhr eine Kraft von höchstens 250 cmg. Zugleich gestattet eine zweckmäßige Wahl der Übersetzungsräder die Anwendung des „schleichenden“ Sekundenzeigers, auf dessen Bedeutung später noch eingegangen wird.

Das Werk einer Synchronuhr läßt somit an Einfachheit kaum noch Wünsche bestehen. Es galt nur noch, die Drehzahl der stromerzeugenden Dynamomaschinen auf eine derartige Regelmäßigkeit zu bringen, daß die Frequenz des Stromes mindestens in den Grenzen der zeitlichen Abweichungen bleibt, wie sie die mechanischen Uhren für den bürgerlichen Gebrauch zeigen. Daß diese Aufgabe mehr als zufriedenstellend gelöst wurde, soll im nachfolgenden Teil ausgeführt werden.

3. Frequenzregulierung und Zeitgenauigkeit

Warum genaue Frequenzkontrolle?

Hat der, übrigens durch Gleichstrom magnetisch erregte Läufer (das Polrad) einer Drehstrom- oder Wechselstromdynamomaschine acht Pole wechselnder Polarität, so muß er $\frac{50 \times 2 \times 60}{8} = 750$ Umdrehungen je Minute machen, wenn der von ihm gelieferte Strom die Frequenz 50/Sek. haben soll; jede Abweichung von dieser Drehzahl bedingt eine proportionale Frequenzänderung.

Die von dem Maschinenwärter des Werkes durchgeführte Frequenz-Konstanthaltung erfolgt allgemein mittels Kontrolle durch einen **Zungenfrequenzmesser**, welcher in Abbildung 6 gezeigt ist. Das Gerät enthält eine Anzahl Stahlzungen, die, meistens in Halbwechsel abgestuft von 97 bis 103 Wechsel, je auf die Schwingungszahl eines Halbwechsels abgestimmt sind. Hinter diesen Zungen ist ein Elektromagnet angeordnet, der im Takt der Frequenz des erzeugten Stromes schwingt oder „brummt“. Diejenige Zunge, deren Eigenschwingungen mit denen des Elektromagneten genau gleich sind, gerät in starke Bewegung, während die nächstgelegenen, um einen halben Wechsel höher und tiefer abgestimmten Zungen nur leicht ansprechen und alle anderen in Ruhe bleiben.

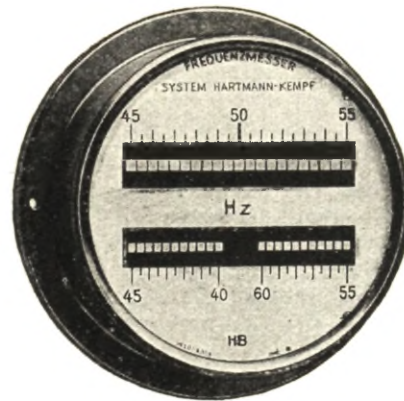


Abb. 6. Zungenfrequenzmesser (Hartmann und Braun)

So kann man bei normaler Beobachtung des Gerätes bis zu $\frac{1}{2}$ Wechsel, bei sehr aufmerksamer auf $\frac{1}{4}$ Wechsel die Frequenz kontrollieren und sie durch Regelung der Dampfzufuhr der Antriebsmaschine regulieren. Für die **Zeitmessung** mit angeschlossenen Synchronuhren ist jedoch diese Regulierung durchaus ungenügend. Wenn beispielsweise ein Generator nur einen Tag mit einer Unterfrequenz von 0,5 Wechsel laufen würde, so müßten die angeschlossenen Synchronuhren bereits ein Nach-

gehen von $\frac{\left(\frac{0,5 \times 1}{100}\right) \times 60 \times 60 \times 24}{60} = 7,2$ Min. zeigen. Man hat daher

ein genaueres Kontrollsystem in Anwendung des ständigen Vergleiches einer guten Präzisions-Pendeluhr und einer Synchronuhr geschaffen, welches jede Frequenzabweichung auf die Sekunde genau festzustellen gestattet. Die erste Idee zu diesem Kontrollverfahren wurde von Michl in Kosice angegeben; sie ist von den Großfirmen der Elektrotechnik weiter durchgebildet worden.

Wenn heute ein großer Teil der Kraftwerke bereits die Frequenzkontrolle benutzt, so ist die Ursache dessen nicht in der Absicht zu suchen, möglichst viele Synchronuhren anschließen zu wollen; sie liegt vielmehr auf betriebstechnischem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft selbst. Die größeren Kraftwerke sind durch Kuppelleitungen miteinander verbunden, über die sie sich gegenseitig nach Bedarf beliefern und einander bei Parallelschaltung der Werke in der Stromlieferung unterstützen. Dabei muß eine vorher verabredete „Lastverteilung“ eingehalten werden, die auf erhebliche Schwierigkeiten stößt, sobald die Werke mit Frequenzunterschieden fahren. Diesem Umstand haben wir allein die schnelle Verbreitung der Frequenzkontrolle zu danken. Es gibt zwei Systeme der Frequenzkontrolle, von denen das ältere mit Frequenzuhren und das neuere mit Röhrenfrequenzmessern arbeitet.

Die Frequenzkontrolle mit zwei Uhren

Die Abbildung 7 zeigt das Zifferblatt einer Frequenzkontroll-Standuhr der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG). Sie besteht aus einer besseren Sekundenpendeluhr in Verbindung mit einer Synchronuhr. Letztgenannte ist mit ihren Zeigern konzentrisch zu denen der Pendeluhr eingebaut, so daß die Sekunden- und Minutenzeiger je übereinander laufen, wobei die roten Zeiger die der Synchronuhr, die schwarzen die der Pendeluhr sind. Der Maschinist sieht daher mit einem Blick, welche Unterschiede zwischen der astronomischen und der elektrischen Zeit bestehen; er hat seine Maschinen derartig laufen zu lassen, daß die roten und die schwarzen Zeiger sich decken. Diese Kontrolle läßt sich nun noch verschärfen dadurch, daß die Standuhr in dem Direktions- oder Betriebszimmer aufgestellt wird und eine Schalttafel-Kontrolluhr über einen Sekundenkontakt der Standuhr betrieben wird. Die Anordnung gestattet eine ständige Kontrolle des Maschinisten in der Richtung, ob und wie er die Frequenzkontrolle für die Frequenzregulierung auswertet, auf die es praktisch ja allein ankommt. Die Schalttafel-Kontrolluhr nach Abbildung 8 gibt rechts die Sekunden-, Minuten- und Stundenangabe der elektrischen und links die der astronomischen Zeit an. Besonders praktisch ist der große, konzentrisch zum Zifferblatt angetriebene Zeiger, der über ein Differentialgetriebe stets den Unterschied zwischen beiden Zeiten angibt in

der Weise, daß ein Voreilen der elektrischen Zeit einem Rechtslauf über die Sekundenskala und ein Nachgehen dem Linkslauf des Zeigers entspricht. Unter ihm ist noch ein kleines Zifferblatt angebracht, das die Differenzen in Minuten angibt. Werden diese beiden Zeiger auf dem Stand Null erhalten, so herrscht Übereinstimmung der beiden Zeiten, und die Synchronuhren laufen sekundengenau.

Schwierigkeiten der Frequenzhaltung — Röhrenfrequenzmesser

Die stetige Zunahme der gemeinsamen Belieferung größter Versorgungsgebiete setzt die Aufstellung eines „Fahrplans“ voraus, durch den die „Lieferquote“ der einzelnen Großkraftwerke, also die Grundlast- und Spitzenverteilung sowie die Frequenzhaltung, bestimmt wird. Innerhalb der einzelnen Werke wird dann die abzugebende Leistung auf die einzelnen Maschinen ebenfalls verteilt, und zwar in Berücksichtigung der Eigenart der Maschinen. Diese Eigenart ist bestimmt durch die Leistungsgröße und die Abhängigkeit von dem Kraftregler der Maschinen. Jeder Fliehkraftregler hat seine „Kennlinie“, die das Abfallen der Drehzahl mit wachsender Last darstellt; so arbeiten beispielsweise Wasserturbinen träger als Dampfmaschinen, und ein Typ der Dampfmaschinen regelt schneller als ein anderer. Bei Parallelbetrieb mehrerer Maschinen nehmen aber die Schnellregler stets die größere



Abb. 7. Zifferblatt einer Frequenzkontroll-Standuhr

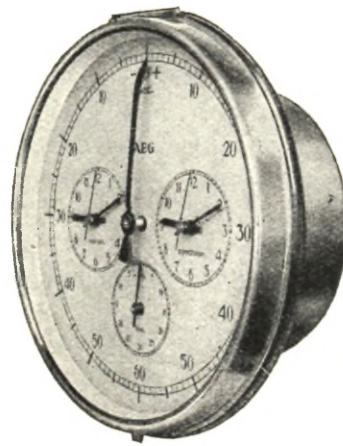


Abb. 8. Schalttafel-Frequenzkontrolluhr

Last selbsttätig auf. Nach diesen Gesichtspunkten wird sowohl im einzelnen Werk wie im ganzen Versorgungsgebiet für alle Werke der Fahrplan geregelt. So haben sich in den letzten Jahren die Betriebsverhältnisse der Großkraftwerke derartig entwickelt, daß die Frequenzkontrolle durch Uhren sich als ungenügend erweist, einmal, weil ihr Genauigkeitsgrad zu gering ist, und zweitens, weil die Regulierung der Frequenz eine selbsttätige und zeitlich möglichst wenig verzögerte sein muß.

In Zusammenarbeit mit der Telefunken-Gesellschaft hat nun die AEG schon vor Jahren ein Frequenz- und Leistungs-Regelverfahren entwickelt, das sich in größten Kraftwerken bewährt hat und daher eine stetig zunehmende Verbreitung erfährt. Diese Fernwirkanlagen regeln die gesamte Lastverteilung beliebig vieler Kraftwerke unabhängig von deren Entfernungen zueinander selbsttätig und mit einer erstaunlichen Frequenzgenauigkeit. Die Röhrenfrequenzmesser sprechen nämlich schon an bei einer Frequenzabweichung von $\frac{1}{1000}$ Hertz! Es würde den zur Verfügung stehenden Raum weit überschreiten, eine genaue Beschreibung der Apparatur und Wirkung solcher Anlagen zu geben; es sei nur bemerkt, daß die von den Maschinen abgegebene Frequenz in proportionale Meß-Gleichströme umgesetzt und in Sonderapparaten mittels Schwingungskreisen und Verstärkerröhren mit der Normalfrequenz verglichen wird. Die Abbildung 9 zeigt einen Röhrenfrequenzmesser, während in Abbildung 10 das Schema einer Leistungsregelungs-Anlage für kurzzeitige Last-

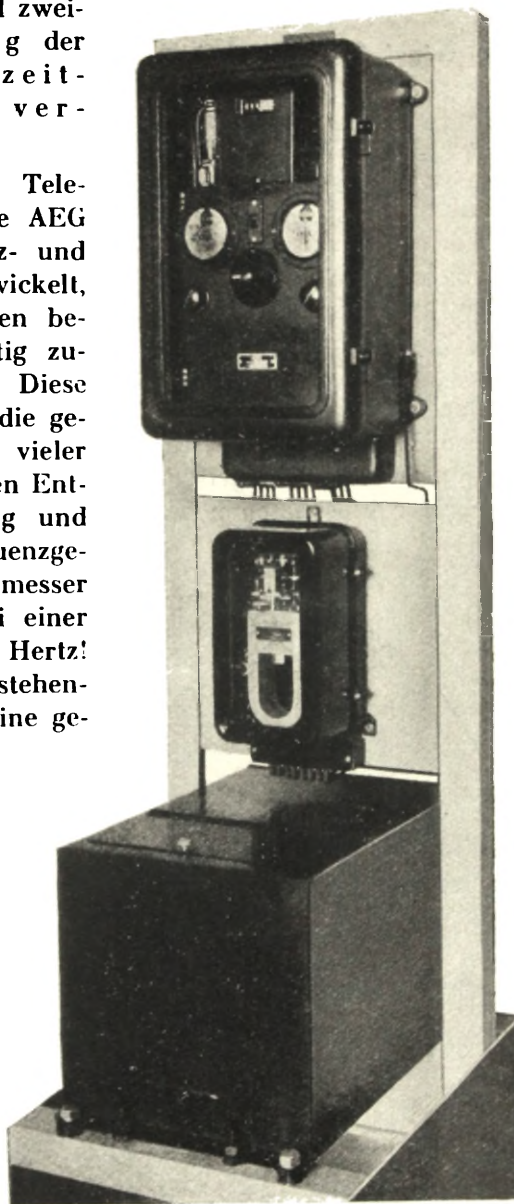


Abb. 9. Röhrenfrequenzmesser (AEG)

schwankungen dargestellt ist.

Die erreichbare Genauigkeit von Synchronuhren

Die Genauigkeitsgrenze der Zeitangabe von Synchronuhren ist in Anwendung der selbsttätigen Steuerung der Kraftmaschinen durch Röhrenfrequenzmesser eine derartig hohe, daß sie die Gangleistung von

Präzisionspendeluhren wohl übersteigt. Dagegen ist die Frequenzkontrolle mittels Kontrolluhren eben nur eine Kontrolle und keine Frequenzsteuerung, die auf Grund der Kontrolle erst von Hand des Maschinisten durchgeführt werden muß. Die Beschaffung der Kontroll-einrichtung bedeutet aber die Absicht der Werksleitung, die Frequenzsteuerung durchzuführen, und so wird der Maschinist daraufhin irgendwie beaufsichtigt werden, ob er seine Maschinen den Betriebsverhältnissen entsprechend aussteuert. Das von dem Synchronzeiger der Werkskontrolluhr angezeigte „Zeitintegral“ (d. h. die Summe der durch Frequenzabweichungen entstehenden Zeitunterschiede) wird mindestens täglich einmal, im allgemeinen aber mehrmals berichtigt werden. Somit ist die Summierung der Zeitdifferenzen der Synchronuhren unter allen Umständen eine sehr kurzfristige, und der Höchstwert der Fehlangabe bleibt ein sehr kleiner.

Die Synchronuhr verhält sich also hinsichtlich ihrer Gangleistung wie eine Uhr, die täglich mehrere Male auf genaue Zeit eingestellt wird. Es bleibt noch zu untersuchen, welche Spitzendifferenzen der Frequenz vorkommen können, um zu beurteilen, um wie viele Sekunden die Uhren innerhalb der Zeit zwischen zwei Regulierungsperioden falsch gehen können. Sie sind abhängig von den Betriebsverhältnissen des Werkes. Selbständige, nicht durch Kuppelleitungen mit anderen Werken verbundene Werke werden um so regelmäßiger fahren, je größer die Leistung ihrer Maschinensätze im Verhältnis zu der vorkommenden Spitzenbelastung ist, je weniger sie also im Betrieb an die zulässige Höchstbelastung herankommen. Denn eine Mehrbelastung bringt eine Drehzahlverminderung mit sich, die bei Überlastung nicht mehr ausgeglichen werden kann.

Bei gekuppelten Werken sind Zeitfehler ebenso möglich, wenn die

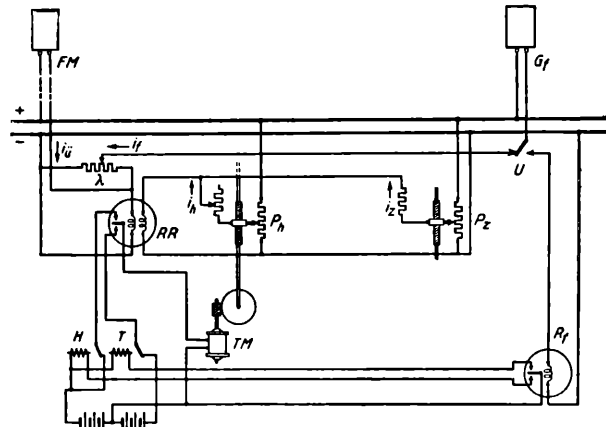


Abb. 10. Schaltbild einer Leistungsregelungsanlage mit aktiver und passiver Frequenzbeeinflussung

frequenzsteuernden Maschinen zur Überlastung neigen infolge einer zu „ebenen“ Kennlinie. Bei kleineren Einzelwerken kann der Frequenzabfall immerhin ein so erheblicher werden, daß die Uhren unzulässige Differenzen zeigen, wenigstens innerhalb kurzer Betriebszeiten; bei Großkraftwerken bleiben die Differenzen in sehr kleinen Grenzen. Muß man also bei kleineren Einzelwerken mit zeitlichen Fehlern von vielleicht 10 bis 20 Sekunden rechnen, so werden sie im gekuppelten Netz 5 Sekunden kaum übersteigen.

Immer aber muß an der Tatsache festgehalten werden, daß diese Fehlangaben nur vorübergehend sind, die stets wieder ausgeglichen werden und nur kurzfristig auftreten können. Das ist der große Vorzug aller Synchronuhren in kontrollierten Wechselstromnetzen. Welch hohe Präzision der Frequenzregulierung in großen städtischen Werken erreicht werden kann, hat Dr.-Ing. Baltzer durch Untersuchungen mit Synchronuhren im Berliner „Bewag“-Netz nachgewiesen (Deutsche Uhrmacher-Zeitung, Jahrg. 59, Nr. 27). Die von ihm veröffentlichte Gangtabelle umfaßt eine Beobachtungszeit von 50 Tagen der Monate Oktober und November mit je drei täglichen Beobachtungen um 7⁵⁵, 13⁰⁰ und 14⁴⁵ Uhr. Die in dieser Zeit vorgekommene größte Abweichung ist ein Vorgehen von 4,4 Sekunden; an acht Tagen war keine Differenz festzustellen, und die mittleren täglichen Gangfehler der einzelnen Beobachtungen sind: Morgens 1,094, mittags 0,888 und nachmittags 0,854 Sekunden. Das sind unvergleichlich gute Gangergebnisse!

Es wäre daher nicht zu verstehen, wenn ein in einem Orte mit Frequenzkontrolle ansässiger Fachmann nicht das Interesse aufbrächte, um in seinem Ortsnetz ähnliche Untersuchungen der von Synchronuhren erreichten Genauigkeit durchzuführen und aus deren Ergebnissen Kapital zu schlagen für seinen Absatz. Vor der Einführung von Synchronuhren sollte er unbedingt solche Prüfungen durchführen, um selbst zu wissen, was er seinen Kunden mit Synchronuhren bieten kann. Über die Art dieser Untersuchungen ist im Teil II Abschnitt 14 näheres ausgeführt.

4. Die Synchronmotoren

a) Anwerfmotoren und Selbstanläufer

Im Abschnitt 1 ist das Prinzip des Synchronmotors behandelt worden. Es wurde ausgeführt, daß dieser Motor nicht wie andere Motoren selbsttätig anläuft. Außer diesen „Anwerfmotoren“ sind nun noch „Selbstanläufer“ durchgebildet worden, die aber nicht mehr reine Synchronmotoren darstellen, sondern die sie mit den Eigenschaften eines Asynchronmotors durch Zusatzelemente verbinden. Diese Konstruktionen verteuern sich den Anwerfmotoren gegenüber erheblich, und da sie unter Patentschutz stehen, so verteuern sie sich dadurch noch mehr. Ihr Stromverbrauch ist ziemlich genau doppelt so hoch wie der eines Anwerfmotors. Der Preis eines normalen Synchronuhrwerkes liegt (zur Zeit der Niederschrift dieses Buches) bei 3 RM, während der neueste Preis eines Motors für Selbstanlauf allein 7 RM beträgt. Der Anwerfmotor kann beliebig für Rechts- oder Linkslauf angeworfen werden; der Selbstanläufer ist nur für eine Wahldrehrichtung verwendbar.

Beide Motorarten bleiben bei Stromunterbrechung sofort stehen. Bei Stromrückkehr muß der Anwerfmotor angeworfen werden, während der Selbstanläufer sich selbsttätig in Bewegung setzt. In Anwendung auf reine Zeitmesser ist die Frage heute noch umstritten, welche Motorart die zweckmäßigste ist, weil einerseits die in den Netzen vorkommenden Stromunterbrechungen zum weitaus größten Teil aus Überspannungserscheinungen resultieren, die nur von außerordentlich kurzer Dauer sind, und weil andererseits der Anwerfmotor schon bei Stromunterbrechungen aus dem Tritt fällt, die unterhalb Sekundendauer liegen. Dieses Fragengebiet ist im Abschnitt 7 besonders behandelt.

b) Der Anwerfmotor - Allgemeines über seine Bauart

Der niedrige Preis einer Synchronuhr ist wesentlich durch die große Einfachheit des Anwerfmotors bestimmt. Ein zweipoliger Motor nach der Abbildung 4 ist der einfachste seiner Art; aber eine Drehzahl von 3000 Umdr./Min. ist erstens erheblich zu hoch, um eine einfache und dabei betriebssichere Lagerung anwenden zu können, zweitens würde ein solcher Schnellläufer in einfacher Ausführung zuviel Geräusch machen, und drittens läßt er sich nur mit besonderen Mitteln anwerfen.

Daher hat man die Läuferpolzahl erheblich vermehrt, und die neueren, auf Uhren angewandten Anwerfmotoren nähern sich allgemein der Polzahl 30, so daß die minutliche Drehzahl von $\frac{50 \times 2 \times 60}{30} = 200$ sich durchzusetzen beginnt.

Die heute allgemein übliche Konstruktion ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Statorbleche *a* und *b* sind durch das von der Erregerspule umschlossene Joch *c* magnetisch miteinander verbunden und mit 8 bis 12 Zähnen versehen, die als ausgeprägte Pole wirken. Sie umschließen mit einem engen Luftspalt den Rotor oder Läufer *d*, dessen 26 bis 36 Pole von genau gleicher Teilung sind wie die Statorpole.

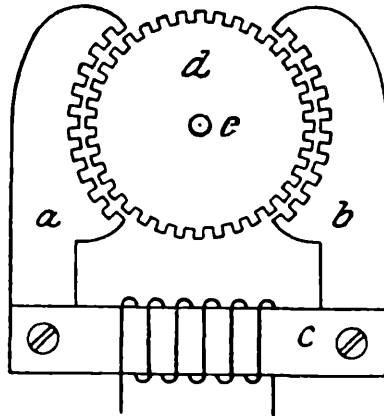


Abb. 11. Vielpoliger Anwerfmotor

Der Rotor besteht meistens aus zwei durch eine Nabe miteinander vernieteten Eisenscheiben, der Stator aus zwei bis vier aufeinander geschichteten, mit der Platine der Uhr vernieteten oder verschraubten Blechen. Die Pole der Zähne des Rotors sind stets gefräst und zeigen einen flachen Zahngrund, während man

die Statorzähne oft stantzt und sie mit kreisförmigem Grund sehr flach ausführt, so daß nur noch von „Einbuchtungen“, aber kaum mehr von Zähnen gesprochen werden kann. Eine derartige Statorausführung ist unzuweckmäßig; sie erleichtert wohl den Anlauf des Motors, verwischt aber die Charakteristik und läßt den Motor leicht außer Tritt fallen. Es ist daran festzuhalten, daß Rotor und Stator gleichmäßig scharf ausgeprägte Pole haben müssen.

Aufliegend auf dem Rotor und mit leichter Reibung drehbar auf seiner Welle *e* ist noch eine Schwungscheibe angebracht, über deren Anordnung im Abschnitt 5d ebenso näheres ausgeführt ist wie über die Anwerfvorrichtung im Abschnitt 5h. Die Wirkungsweise dieses Motors ist genau die gleiche wie die im Abschnitt 1 beschriebene des zweipoligen Motors.

Entsprechend den Vorschriften des V.D.E. muß die Spule auf einem feuerfesten Körper aufgewickelt sein, und man findet auch heute keine unbedingt zu verworfenden Hartpappe-Spulenkörper mehr, sondern nur noch gepreßte Körper aus vorschriftsmäßigem Werkstoff. Da der Stromverbrauch der Synchronuhren auf den Mittelwert von 1 Watt herabgedrückt worden ist, so ergeben sich sehr kleine Drahtquerschnitte, besonders für die höheren Spannungen. Wird

der feine Draht nicht mit der erforderlichen Sorgfalt gewickelt, so treten leicht Spannungen in den einzelnen Windungen auf, die später Drahtbrüche herbeiführen. Die beiden Anschlußklemmen oder -schrauben sollen so angeordnet sein, daß sie leicht zugänglich sind. Das ist bei einigen Fabrikaten noch ebenso wenig der Fall wie die Verwendung von Anschlußschrauben mit genügend kräftigem Gewinde und genügend kräftigem Kopfdurchmesser. Beispielsweise ist eine Schraube mit einem Gewindedurchmesser von 1,8 mm und 4 mm Kopfdurchmesser durchaus ungeeignet, um die vorschriftsmäßig verlöteten Enden einer Anschlußlitze haltbar zu klemmen.

c) Bauart und Arbeitsweise der Selbstanläufer

Da ein reiner Synchronmotor nicht selbsttätig anlaufen kann, so muß einem Selbstanläufer ein zusätzliches *asynchrones Anlaufelement* gegeben werden, und im Stator muß ein *magnetisches „Drehfeld“* umlaufen. Dieses Drehfeld ist jedem „Mehrphasenstrom“, wie es z. B. der Drehstrom¹⁾ mit drei Phasen und drei Zuleitungen zum Motor ist, an sich eigen; bei Verwendung des „einphasigen“ Wechselstromes, den der Lichtstrom in unseren Wohnungen z. B. darstellt, muß es künstlich erzeugt werden. In Anwendung des künstlichen Drehfeldes gelingt es dann, den mit asynchronem (nicht zeitengleichem) Antrieb versehenen Motor auf die synchrone Drehzahl zu bringen, so daß er dann synchron weiterläuft. Wir wollen uns zuvor die Entstehung des Drehfeldes in einem Zweiphasenmotor klarmachen.

Die Entstehung des magnetischen „Drehfeldes“

In Abbildung 12 ist der über eine Periode verteilte zeitliche Verlauf der beiden um 90° zueinander versetzten Ströme *I* und *II* eines *Zweiphasenstromes* dargestellt. Im Zeitpunkt 0° hat der Strom *I* den

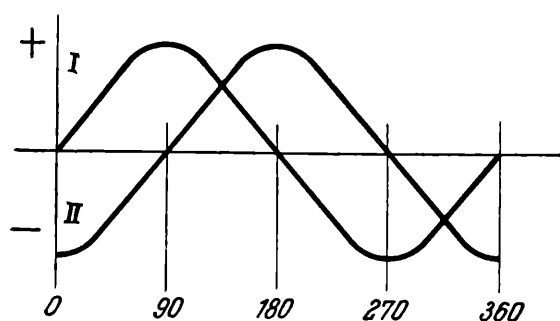


Abb. 12. Zweiphasenstrom

Wert Null, der Strom *II* aber seinen negativen Maximalwert. Nach Verlauf einer Viertelperiode ($90^\circ = \frac{1}{50} : 4 = \frac{1}{200}$ Sekunde) ist der Strom *I* auf seinen positiven

¹⁾ Hinsichtlich der Bedeutung von Mehrphasen- und Einphasenstrom sei besonders auch auf das Buch „Praktische Elektrotechnik“ von Dr. Kesseldorfer hingewiesen.

Maximalwert angestiegen, während II gleich Null ist. Bei 180° hat II seinen positiven Höchstwert, und I ist gleich Null. Bei 270° ist II wieder auf Null abgefallen, und I hat seinen negativen Höchstwert erreicht. Bei 360° bestehen natürlicherweise gleiche Verhältnisse wie bei 0° , weil sich damit die 360° des Kreises geschlossen haben.

In Abbildung 13 ist ein Eisenring mit vier angedeuteten Spulen I_1 I_2

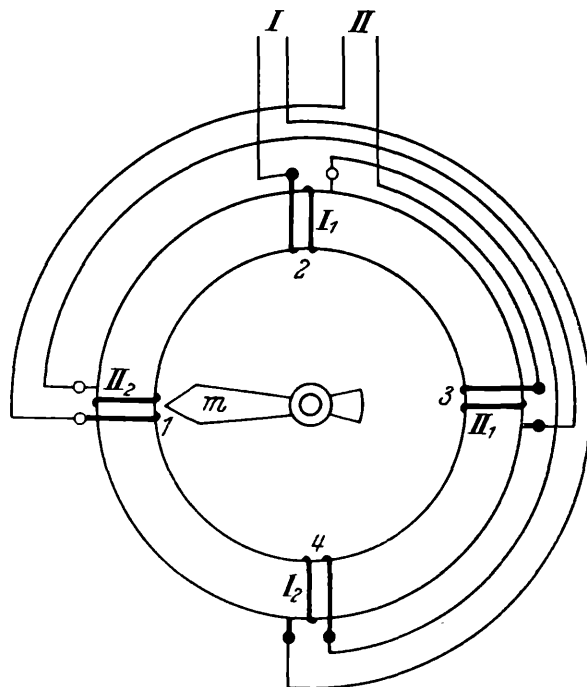


Abb. 13. Zweiphasen-Drehfeld

und II_1 und II_2 gezeichnet, die von den Strömen I und II durchflossen werden; zentrisch zu dem Ring ist eine Magnetnadel m drehbar gelagert. Der Eisenring soll den Stator und die Magnetnadel den Rotor eines Asynchronmotors für

Zweiphasenstrom darstellen. Wir wollen untersuchen, wie sich die Magnetnadel bei Stromfluß verhält, wobei wir die Zeitmomente nach Abbildung 12 zugrunde legen und weiter annehmen, daß ein Wechsel des Stromes I die Spulen I_1 und I_2 entgegengesetzt und der nachfolgende des Stromes II die Spulen II_1 und II_2 in gleicher Richtung und zueinander ebenfalls entgegengesetzt erregt.

Im Zeitmoment 0° hat der Strom II seinen negativen Höchstwert, während I gleich Null ist. Nun sei noch angenommen, daß die Richtung des ersten Stromstoßes II die Spule II_1 positiv und daher II_2 negativ magnetisiert. Dann wird sich die Magnetnadel m auf die Stellung 1 einstellen. Bei 90° des Periodenverlaufs hat I seinen positiven Höchstwert, und II ist gleich Null. Dann wird I_1 negativ und I_2 positiv; die Nadel wird in die Stellung 2 gedreht. Bei 180° ist II ein positives Maximum und I gleich Null. Dadurch wird II_1 negativ und II_2 positiv; die Nadel dreht sich in die Stellung 3. Schließlich kommt bei 270° der Strom I in seinen negativen Höchstwert, und II wird zu Null. Jetzt ist I_1 positiv und I_2 negativ geworden; die Nadel geht in die Stellung 4. Damit hat sie ihren Kreislauf vollendet, und wir verstehen nun, daß das magnetische

Drehfeld eines Mehrphasenstromes den Motoranker mitnimmt.

Die minutliche Drehzahl des Drehfeldes ist abhängig von der Polzahl der Erregerwicklungen. In Abbildung 11 sind für die beiden Ströme (Phasen) I und II je zwei Pole angeordnet, und wir haben festgestellt, daß sich das Drehfeld im Verlauf einer Periode einmal dreht. So ergibt sich allgemein eine minutliche Drehzahl n des Drehfeldes von

$$n = \frac{60 \times f \times 2}{p}, \text{ wenn } f \text{ die Frequenz und } p \text{ die Polzahl ist. In dem Beispiel nach Abbildung 13 wird sich eine Drehfeldgeschwindigkeit von } \frac{50 \times 2 \times 60}{2} = 3000 \text{ Umdrehungen bei 50 Hertz ergeben. Man hat es also}$$

in der Hand, die Drehzahl eines Mehrphasen-Asynchronmotors durch die Anzahl der Erregerpolpaare zu bestimmen.

Ein Vergleich ergibt für Synchron- wie für Asynchronmotoren die gleiche Drehzahlabhängigkeit von Frequenz und Polzahl, aber mit zwei Unterschieden. Erstens ist der Synchronmotor von der Polzahl des Rotors abhängig, während der Drehfeldumlauf eine Funktion der Anzahl der Erregerpolpaare ist. Zweitens ist die Drehzahl des Rotors eines Asynchronmotors stets kleiner als die seines Drehfeldes. Diese Nachteil, „Schlüpfung“ genannt, ist am kleinsten bei Leerlauf und steigt mit wachsender Last; sie liegt in den Grenzen von 1 bis 8 % der Drehfeldgeschwindigkeit. Die Schlüpfung erklärt sich daraus, daß der Rotor bei der Mitnahme durch das Drehfeld Reibungs- und Belastungswiderstände zu überwinden hat, so daß die zwischen Feld und Rotor bestehende magnetische Kupplung etwas nachgeben muß; der Rotor bleibt immer etwas hinter dem Feld zurück. Er würde schon bei geringer Last stillstehen, wenn nicht durch zunehmendes Zurückbleiben sein magnetischer Kreis verschlechtert, seine Selbstinduktion verringert und dadurch die Rotorstromstärke steigen würde. Die Schlüpfung verursacht somit Drehzahländerungen; sie allein schon machen den Asynchronmotor ungeeignet für die Zeitmessung.

Der Warren-AEG-Motor („Hysteres“-Motor)

Die bei Anwendung des einphasigen Wechselstromes erforderliche künstliche

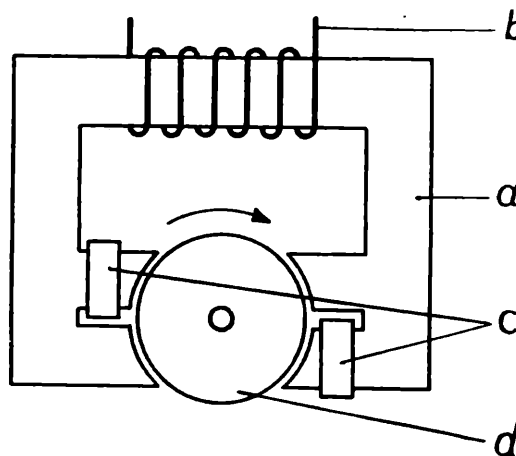


Abb. 14. Warren-Motor

Erzeugung eines Drehfeldes geschieht am einfachsten durch Aufbringen von Kupferringen auf die Pole des Motorstators, wie dies auch für Ferrarismotoren Gebrauch ist. (Band I, Teil VII, Abschnitt 8). In Abbildung 14, die den selbstanlaufenden Warren-Motor darstellt, sind die beiden Kupferringe *c* auf der einen Hälfte der beiden gespaltenen Pole des Stators *a* aufgebracht, der durch die Spule *b* erregt wird. Zwischen den Polen läuft der gehärtete Stahllanker *d* um. Jeder Stromstoß induziert in den Kupferringen *c* je einen Wirbelstrom, der natürlicherweise später gebildet wird, als der induzierende Hauptstrom fließt. Diese Wirbelströme erregen das Statoreisen ebenfalls, aber später als der Hauptstrom. So kommen im Stator zwei magnetische Flüsse zustande, von denen der von den Wirbelströmen erregte dem Hauptfluß ungefähr um 90° , also um eine Viertelperiode, nacheilt, so daß in den beiden Polen ein magnetisches Drehfeld umläuft, das den Rotor mitnimmt. Dieser Warren-Motor, der in Deutschland von der AEG verbessert wurde und hergestellt wird, hat als zweipoliger Synchronmotor eine Drehzahl von 3000 Umdr./min; er ist also ein „Schnellläufer“, der in eine abgedichtete und ölfüllte Kapsel eingebaut ist, und dessen Rotor in Steinen läuft.

Diese Motorart hat die Eigenschaften, daß ihre asynchrone Anlauf-Höchst-drehzahl, abgesehen von dem Schlupf, gleich ihrer synchronen Drehzahl ist, und daß ihr asynchrones Kraftmoment mit dem Schlupfwinkel hinter dem synchronen nachhinkt, so daß bei der synchronen Betriebsdrehzahl nur das synchrone Drehmoment zur Wirkung kommt. Hieraus ergibt sich neben dem sicheren Anlauf ein eindeutiger synchroner Lauf mit kräftigem Drehmoment. Der aus hochwertigem Kobaltstahl bestehende Rotor wiegt nur 4 Gramm. Sein geringes Gewicht in Verbindung mit seiner bei dem Anlaufen einsetzenden Magnetisierung durch die Kraftlinien des Drehfeldes lassen ihn in Synchronismus kommen. Denn in dem Zeitmoment, wenn der Anker seine asynchrone Höchst-drehzahl, also fast die synchrone Drehzahl erreicht hat, wird die sehr geringe Schlüpfung von 1 bis 2 % (als kleine Differenz zwischen der asynchronen und der synchronen Drehzahl) überbrückt durch ein Mitreißen des als Stabmagnet polarisierten Rotors durch das ruckweise Einsetzen des maximalen synchronen Teil-Drehmomentes. Wir haben hier also einen Motor vor uns, dessen Rotor nicht durch Wirbelströme, sondern durch Hysteresis von dem synchronen Kraftfelde mitgenommen wird, und dessen asynchrones Element den Synchronismus nicht stören kann. Fällt der Motor infolge von Überlastung außer Tritt, so wirft ihn sein asynchroner Anlauf immer wieder an.

Eine verbesserte Form des Warren-Motorprinzips ist in den Abbildungen 15 und 16 veranschaulicht; sie ist von der AEG durchgebildet worden. Der Motor ist 16polig, macht also $\frac{50 \times 2 \times 60}{16} = 375$ Um-

drehungen in der Minute und ist somit ein Langsamläufer. Die Abbildung 15 zeigt den zusammengesetzten Motor, während Abbildung 16 die Einzelteile darstellt. Die beiden einzelnen Kapselhälften tragen je eine Kupferplatte, in welche die Lagerbuchsen für die Rotorachse eingespritzt sind, sowie je acht Polpaare, von denen je einer, wie in Abbildung 15 deutlich sichtbar ist, durch die Kupferplatte geführt und nach innen umgebogen ist. Diese acht Pole jeder Kapselhälfte bilden das asynchrone Element; sie sind von verhältnismäßig viel Kupfer umgeben und geben somit dem Rotor einen kräftigen Anlauf. Die neben diesen Kurzschlußpolstäben angebrachten zweiten Polstäbe sind von dem Kupfer unbeeinflusst; sie bilden acht Einzelpole ihrer Kapselhälfte für den synchronen Lauf. Der in der Abbildung sichtbare Rotor wiegt nur 3 Gramm; er besteht aus Kobaltstahl. Die Spule wird in die Kapsel eingelegt und umrahmt alle Pole. Bei Stromdurchgang magnetisiert sie die Kapselhälften und deren Pole

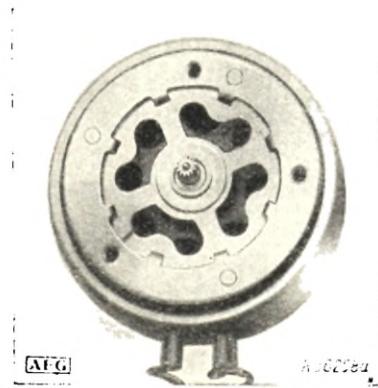


Abb. 15. AEG-Selbstanläufer (Langsamläufer)

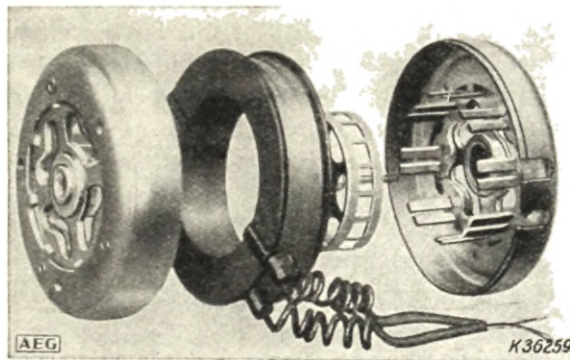


Abb. 16. Einzelteile des langsamlaufenden AEG-Selbstanläufers

in entgegengesetzter Polarität der Hälften, so daß also bei jedem Stromstoß alle Pole einer Kapselhälfte nord- und die der anderen Hälfte süd magnetisch sind. Dieser Motor arbeitet genau so wie der vorher beschriebene Warren-Motor, abgesehen von der verminderten Drehzahl.

Sangamo- und Westinghouse-(Siemens-)Motoren (Untersynchron-Motoren)

Ein zweites Prinzip der Selbstanläufer wird durch den Sangamo-Motor repräsentiert. Die Abbildung 17 gibt eine schematische Darstellung desselben. Der Stator ist ein mit geschlitzten Polen und Kupfer ringen versehener, lamellierter Eisenkörper genau wie der Warren-Motor, während der Rotor sechs ausgeprägte Pole besitzt.

Seine synchrone Drehzahl ist somit bei 50 Hertz $\frac{50 \times 2 \times 60}{6} = 1000/\text{min}$,

er ist also ein Langsamläufer. Die durch die ausgeprägten Pole entstehenden Nuten sind mit Kupferstäben ausgelegt, die an beiden Stirnseiten durch je einen Kupferring miteinander verbunden sind. Diese Kupferarmierung dient nur der Erhöhung des Drehmomentes; der Motor würde auch mit einem Eisenrotor anlaufen.

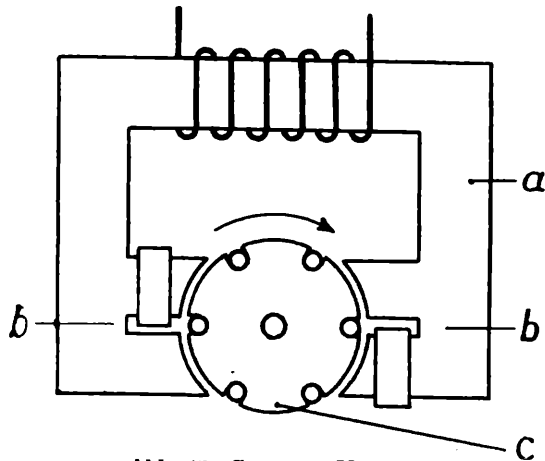


Abb. 17. Sangamo-Motor

Durch die Vermehrung der Rotorpole gegenüber dem Warren-Motor von zwei auf sechs fällt die synchrone Drehzahl von 3000 auf 1000 ab. Die asynchrone Drehzahl ist jedoch die gleiche wie beim Warren-Motor, sie beträgt für zwei Erregerpole

$$\frac{50 \times 2 \times 60}{2} = 3000.$$

Bei dem Warren-Motor sind synchrone und asynchrone Drehzahl gleich, beim Sangamo-Motor dagegen ist die asynchrone dreimal höher als die synchrone. Hierin liegt der grundsätzliche Unterschied der beiden Motorsysteme. Von dem Warren-Motor muß verlangt werden, daß sein asynchrones Drehmoment den Rotor mit Sicherheit in die nächste Nähe des synchronen Laufs bringt; der Sangamo-Motor aber würde über den synchronen Lauf hinaus in die hohe asynchrone Drehzahl kommen, wenn das asynchrone Drehmoment im Synchronisierungs-Zeitmoment stärker sein würde als das synchrone. Somit muß das asynchrone Drehmoment des Sangamo-Motors schwächer sein als das synchrone, damit das letzte im Augenblick des Einfallens des Rotors in die synchrone Drehzahl als stark überwiegende Kraft dem Rotor den Synchronismus aufzwingt. Aus Gründen der Betriebssicherheit soll das asynchrone Drehmoment auch ein konstantes sein.

Der Westinghouse-Motor, der nach eigenen Patenten von der Siemens & Halske A.-G. gebaut wird, arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Der Siemens-Motor hat aber zwölf ausgeprägte Pole, so daß seine Drehzahl sich auf 500/min vermindert.

Dieser Motortyp mit „untersynchroner“ Drehzahl verfügt über ein hohes Drehmoment, da sich das synchrone mit dem asynchronen vereinigt.

Ferranti-Motor (Motor mit pendelndem Anlauf)

Ein drittes Motorprinzip der Selbstanläufer wird von dem Ferranti-Motor vertreten. Es besitzt nicht wie die vorbeschriebenen ein Drehfeld, sondern ein stehendes Wechselfeld, und der Rotor kommt durch magnetische Unsymmetrien in Drehung. In Abbildung 18 sehen

wir den Stator, in Abbildung 19 den Rotor. Der Rotor wird durch einen mit fünfzehn Zähnen versehenen Eisentopf *T* und einen Eisendeckel *D* gebildet, dessen fünfzehn Zähne umgebogen sind und sich in den Kranz der Topfzähne einreihen. Zwischen Topfboden und Deckel ist die Spule *E* eingelegt, durch die bei Stromschluß beide entgegengesetzt magnetisiert werden, so daß die in Lücke zueinander versetzten Topf- und Deckelzähne abwechselnd einen Nord- und Südpol bilden. Der sechszackige

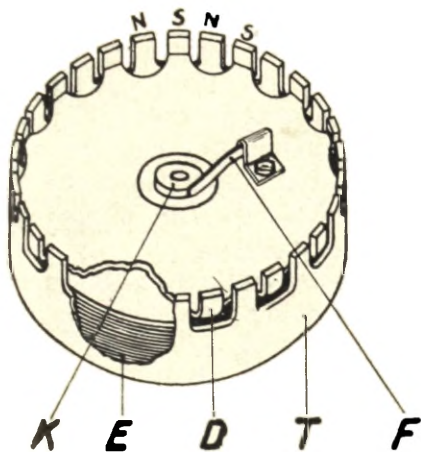


Abb. 18. Stator des Ferranti-Motors

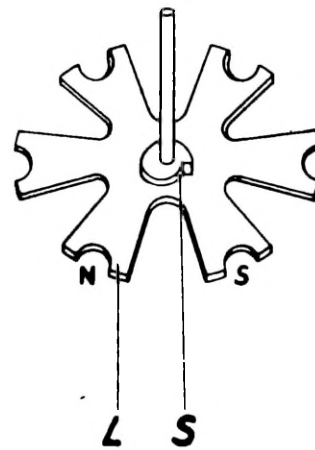


Abb. 19.
Rotor des Ferranti-Motors

Rotor nach Abbildung 19 besteht aus gehärtetem und magnetisiertem Kobaltstahl; je zwei seiner aneinander liegenden Zacken sind abwechselnd nord- und südmagnetisch polarisiert.

Infolge des Verhältnisses der Zahnzahlen 15 und 6 zueinander liegen die Pole des Rotors denjenigen des Stators unsymmetrisch gegenüber, so daß es bei erregter Spule zum Pendeln des Ankers kommt, das nach kurzer Zeit in eine Drehung in einer unbestimmten Richtung überschlägt. Damit nun die Drehrichtung zu einer bestimmten wird, trägt die Rotorwelle einen Sperrnocken *S*, der bei falscher Drehrichtung gegen die Feder *F* (vgl. Abb. 18) stößt und den Rotor in die umgekehrte Richtung wirft.

Die Drehzahl des Motors berechnet sich zu $\frac{50 \times 2 \times 60}{30} = 200/\text{min}$; das Drehmoment ist mit 15 bis 20 cmg ein außerordentlich hohes.

5. Die Synchronuhren mit Anwerfmotoren

a) Motordrehzahl und Übersetzung

Die minutliche Drehzahl des Anwerfmotors ist von Einfluß auf das Übersetzungsverhältnis ins Langsame zur Minutenradwelle, auf den Verschleiß seiner Lager und auf den Anwurf. Eine geringe Drehzahl verkleinert das Übersetzungsverhältnis und vermindert den Lagerverschleiß sowie die Anwerfchwierigkeiten. Geringe Drehzahlen erhöhen jedoch die Rotorpolzahl und damit dessen Durchmesser und Gewicht. Die in den ersten Fabrikationsjahren angewandten Rotorpolzahlen schwanken zwischen 26 und 36; man geht jetzt allgemein zu der Zahl 30 und damit zu der Drehzahl von 200/min über; sie liegt im Mittel.

Diese Drehzahl beansprucht zur Minutenradwelle eine Übersetzung von $200 \times 60 = 12\,000 : 1$, die auch meistens die Sekundenangabe enthalten soll, mit konzentrisch angeordnetem großen Sekundenanzeiger aus der Mitte. Um die Anwendung großer Satzräder und kleiner Triebe zu vermeiden, werden einschließlich des Rotortriebes fünf Triebe und fünf Räder benötigt.

Macht der Rotor in der Minute 200 Umdrehungen, so wird bis zum Sekundenrad eine Übersetzung von $200 : 1$ und von diesem Rad zur Minutenradwelle eine solche von $60 : 1$ erforderlich. Der ersten Übersetzung entsprechen die Zahnzahlen $\frac{40 \times 45 \times 72}{8 \times 9 \times 9} = 200$ und der zweiten $\frac{60 \times 64}{8 \times 8} = 60$.

Natürlicherweise lassen sich entsprechend dem beabsichtigten Aufbau des Werkes noch weitere Verzahnungsverhältnisse schaffen; der Aufbau der einzelnen Fabrikate ist verschieden. Gibt es doch bereits ein Synchronuhrwerk mit nur einer Platine, an dem alle Räder auf Pfosten umlaufen. Zwecks Geräuschverminderung ist bei allen Werken das in das Rotortrieb eingreifende Rad nicht aus Messing, sondern aus Rohhaut oder einem zähen Isolierstoff hergestellt. Das Stelltrieb für den Minutenzeiger greift meistens in das Wechselrad ein und läuft mit den Rädern dauernd um.

b) Das Laufwerk

Der Uhrmacher und Mechaniker versteht unter einem „Laufwerk“ eine Räderübersetzung, deren Getriebe in Wellen mit Rad und Trieb unterteilt und jede Welle mit zwei Zapfen gelagert ist. Je nach der Genauigkeit der Herstellung und der Lagerungen wird die Güte derartiger

Laufwerke beurteilt. Es handelt sich fast regelmäßig um Übersetzungen vom Langsamen in das Schnelle, und zum Antrieb des letzten Rades wird eine am ersten Rade angreifende nicht unerhebliche Feder- oder Fallkraft erforderlich, so daß alle Wellen unter stärkerem Druck stehen. Der Anspruch an eine längere Betriebssicherheit bedingt somit eine nicht sorglose Herstellung und besonders eine gute Zapfenlagerung. Demgegenüber übersetzen die Zeigerwerke der Uhren vom Schnellen ins Langsame, und sie übermitteln bei normal großen Uhren eine geringe Kraft auf die Zeiger. Dieser Unterschied macht sich bezüglich der Anordnung bereits dadurch bemerkbar, daß das Wechselrad auf einem Anrichtstift anstatt mit zwei Zapfen gelagert ist. Ein Mittelding zwischen einem Laufwerk bzw. dem Räderwerk einer mechanischen Uhr und einem Zeigerwerk stellt die Nebenuhr dar. Sie übersetzt vom Ankertrieb zum Minuten- und Stundenrad in das Langsame; sie überträgt jedoch allgemein eine größere Kraft auf die Zeigerräder zum Zweck der ruckweisen Drehung längerer Zeiger. Aus diesem Grunde sind alle Räder einschließlich des Wechselrades mit Zapfen gelagert.

In der Synchronuhr haben wir nun erstmalig ein Laufwerk vor uns, welches sehr hoch in das Langsame übersetzt, dessen Antriebsmotor die geringe Kraft von 2 bis 16 cmg entwickelt und deren Übersetzungsräder daher nur dann stärker belastet werden, wenn sie große und schwere Zeiger anzutreiben haben. Bei gleicher Zeigergröße und gleichem Zeigergewicht ist das Laufwerk einer Synchronuhr erheblich geringer belastet als das einer Nebenuhr, weil die Zeiger der Synchronuhr ständig und mit gleichmäßiger Drehzahl, die einer Nebenuhr jedoch aus der Ruhe heraus bewegt werden, so daß die hohe Reibung aus der Ruhe bei jedem Schaltstoß zu überwinden ist.

Das Laufwerk einer Synchronuhr arbeitet daher unter sehr viel günstigeren Verhältnissen als jedes andere, und es muß auch dementsprechend bewertet werden. Das soll heißen, daß an die Übersetzungsräder und die Lagerungen einer Synchronuhr geringere Ansprüche gestellt werden dürfen als an die einer mechanischen Uhr. Diesen Umstand hat sich bereits eine Firma zunutze gemacht, indem sie eine Synchronuhr baut, deren sämtliche Übersetzungsräder mit ihren Trieben auf zwei Stahlstiften übereinander angeordnet sind. Somit besitzt kein Rad dieser Uhr seine Welle mit besonderen Zapfen. Da die Räder mit ungleichen Drehrichtungen wie auch mit ungleichen Kraftmomenten auf gemeinsamer Welle umlaufen, so dürfte die Forderung zu stellen sein, daß nicht Messing auf Messing umläuft, daß also zwischen je zwei Rädern ein Stahlscheibchen gelegt ist.

Derartige Konstruktionen lassen dem Gedanken Spielraum, Synchronuhren unter Verwendung von reinen Sparsstoffen zu bauen. Es hat sich gezeigt, daß das Isoliermaterial „Novotext“ sehr gut mit Messing wie auch mit den neueren Aluminiumlegierungen zusammen arbeitet.

Die Räder könnten somit aus dem Isoliermaterial und die Triebe aus „Aludur“ oder ähnlichen Legierungen hergestellt werden. Die Rotorlagerungen kann man auch bereits in Verwendung von Novotext von dem Messing befreien. Da dann die Platinen keine Zapfenlöcher mehr aufweisen, so ist man in der Lage, auch sie aus den genannten Legierungen herzustellen, ohne befürchten zu müssen, daß das Öl verdirbt, weil sich keine Zapfen in diesem Metall drehen. (In Amerika sollen nach vorliegenden Mitteilungen bereits billige Qualitäten von Synchronuhren auf dem Markt sein, deren Platinen aus Preßstoffen bestehen, und deren Werkteile fast ganz aus Leichtmetall-Legierungen bestehen.)

c) Der Rotor und seine Lagerung

Der aus weichem Eisen bestehende Rotor setzt sich meistens aus zwei miteinander vernieteten Scheiben zusammen; in nur wenigen Fällen besteht er aus einer Scheibe. Die Pole bzw. Zähne sollen genau und tief genug gefräst sein, damit sie auch wirklich als ausgeprägte Pole arbeiten. Das gleiche gilt für die Pole der Statoreisen.

Für die Lagerung der Rotorwelle sind die mannigfachsten Anordnungen getroffen worden, die einmal eine gute Ölhaltung zum Ziel haben, zweitens dem Verschleiß entgegenarbeiten, drittens auf einen möglichst flachen Werkaufbau gerichtet sind, und die viertens den geräuschlosen Lauf voranstellen. Die bisher gesammelten Erfahrungen bringen hinsichtlich Verschleiß und Ölhaltung das überraschende Ergebnis, daß gewisse elektrotechnische Isolierstoffe, beispielsweise „Novotext“, sich für Achslagerungen sehr viel besser eignen als irgendein Metall und dabei zugleich erheblich geräuschvermindernd wirken. So sind bereits Synchronuhren auf dem Markt, deren Rotorlager aus je einer eingepreßten oder genieteten Lochscheibe mit Deckscheibe aus diesem Material bestehen. Zwischen Loch- und Deckscheibe besteht ein geringer Zwischenraum, der als Ölkammer dient. Der Isolierstoff Novotext besteht aus einer gepreßten Kunstharzmasse (Bakelit) mit Seidenzwischenschuß.

Ein anderes Fabrikat zeigt die an sich längst bekannte Stiftlagerung des Rotors. Das aus Messing bestehende Rotortrieb ist durchbohrt und läuft um auf einem harten, polierten Stahlstift von 1,2 bis 2 mm Stärke. Die Länge der Bohrung beträgt 8 bis 12 mm, womit der Rotor außerordentlich stabil gelagert ist. Neu ist die Anordnung, daß das aus der Höhenluft des Rotors entstehende Geräusch durch eine zwischen Brücke oder Platine und Rotor-Triebansatz gelegte sehr schwache Blattfeder sehr gut gedämpft wird oder daß das untere Lager gefedert ist.

Es ist vorgekommen, daß eine Prüfung auf Dauerhaftigkeit der Rotorlagerung unter falschen Voraussetzungen durchgeführt

und bewertet wurde. Man hat den Rotor nicht elektrisch, sondern über eine Übersetzung mechanisch angetrieben und ist dann im Dauerbetrieb zu sehr ungünstigen Ergebnissen gekommen. Das konnte vorausgesehen werden. Wie aus der Abbildung 11 ohne weiteres erkennbar ist, greifen die magnetischen Kräfte am Umfang des Rotors an, und zwar beiderseitig und im Winkel von 180° zueinander. Somit entsteht durch den elektrischen Antrieb kein seitlicher Druck auf die Rotorlagerung, wie das durch eine Eingriffsübertragung mechanischer Kräfte sehr stark der Fall ist.

Eine sachgemäße Prüfung der Rotorlagerung kann daher nur mittels des elektrischen Antriebes erfolgen; soll eine Schnellprüfung durchgeführt werden, so gibt es wohl nur die beiden Möglichkeiten, entweder einen Rotor mit geringer Polzahl oder einen Wechselstrom von höherer Frequenz zu benutzen.

d) Die Schwungscheibe

Im Abschnitt 1 über das Prinzip des Synchronmotors ist bereits auf die Notwendigkeit hingewiesen worden, durch Anwendung einer Schwungmasse dem Rotor günstige Arbeitsbedingungen für das Einfallen in den Synchronismus zu geben. Der angeworfene und belastete Rotor fällt in der Drehzahl schnell ab, so daß die Drehzahl sich nur für einen kurzen Augenblick mit der synchronen Drehzahl deckt. Fällt die Übereinstimmung zufällig in ein Zeitmoment, das zugleich einen Rotorpol in der Stellung *II* bis *III* nach Abbildung 5 findet, so kommt der Rotor „in Tritt“, in allen anderen Fällen jedoch nicht. Eine mit dem Rotor umlaufende Schwungmasse vergrößert das Beharrungsvermögen des Rotors erheblich; sie verlängert daher die Zeitspanne der Übereinstimmung zwischen Anwurf- und synchroner Drehzahl, erleichtert also die Synchronisierung.

Die Schwungscheibe muß jedoch mit leichter Reibung beweglich auf der Rotorwelle angebracht sein, damit sie bei dem ruckweisen Einsetzen des starken Teildrehmomentes in der Rotorstellung *II* und *III* nach Abbildung 5 nicht augenblicklich mitgerissen zu werden braucht, daß also der synchrone Anlauf möglichst sanft erfolgen kann. Die Schwungscheibe ist meistens von etwas kleinerem Durchmesser als der Rotor, damit die Rotorzähne sichtbar bleiben, und bis zu 2,5 mm stark. Sie liegt auf dem Nietansatz des Rotors unmittelbar auf und wird durch eine feine, zwischen ihr und der Rotorbrücke oder der Platine über die Rotorachse geschobene Stahldrahtfeder mit leichter Reibung festgehalten. Da sie Schwung entwickeln soll, also nicht leicht sein darf und der Einwirkung der Kraftlinien entzogen sein muß, so besteht sie meistens aus Messing.

e) Kraftmoment und Anlaufmoment

Die Synchronuhr mit Anwerfmotor muß unter Strom angeworfen werden. Solange die Drehzahl des Rotors nicht im Synchronismus mit der Frequenz ist, ziehen die Statorzähne die Rotorzähne in dem Sinne an, daß der Magnetismus h e m m e n d auf die Drehbewegung einwirkt. Übersteigt nun die magnetische Kraft an den Zähnen des Rotors gegenüber seiner Schwungkraft ein gewisses Maß, so versagt die Anwerfvorrichtung, weil die Rotordrehzahl zu schnell abfällt, so daß ein manchmal oft wiederholtes Anwerfen erforderlich ist. Hieraus ist zu folgern, daß das Kraftmoment des Motors nicht höher sein darf, als es die Schwungmassen gestatten, daß also Kraftmoment und Anlaufmoment in enger Beziehung zueinander stehen.

Der sehr geringe Verbrauch der Uhr mit Anwerfmotor (bei 1 Watt und 220 Volt wird die Stromstärke 0,0045 Amp.) erfordert ä u ß e r s t d ü n n e S p u l e n d r ä h t e, die dem Bruch ausgesetzt sind. Denn je kleiner der Verbrauch sein soll, um so mehr Windungen müssen auf die Spule aufgebracht werden, da die Selbstinduktion, als ein Stromdrosselement, mit dem Quadrat der Windungszahl ansteigt. So ergeben sich oft Fälle, in denen der Konstrukteur davon absieht, ein zu großes Drehmoment durch einen noch dünneren Spulendraht herunterzudrücken, und zu anderen Mitteln greift. Als solche sind bekannt: Magnetische Streupole, magnetische Nebenschlüsse, erhöhter magnetischer Widerstand des Eisenweges und größerer Luftspalt zwischen Stator- und Rotoreisen. Alle diese Mittel verringern den magnetischen Fluß an den Rotorpolen, aber nur eines von ihnen, der magnetische Nebenschluß, verkleinert bei gleichbleibender Amperewindungszahl auch die Stromstärke. Je besser nämlich der Eisenweg geschlossen ist, um so höher wird die Selbstinduktion im Stromkreise, um so mehr wird das System zur Drosselspule, und je mehr wird der Strom gedrosselt. Daher ist der magnetische Nebenschluß den sonstigen Behelfsmitteln vorzuziehen.

Da das Drehmoment eines Kleinst-Synchronmotors wegen seines niedrigen Wertes nur mittels kleiner Feder-Dynamometer meßbar ist und die verschiedenen Drehzahlen der Motortypen besonders in Rechnung zu stellen wären, so hat sich die Gepflogenheit herausgebildet, das D r e h m o m e n t einer Synchronuhr nicht an der Motorachse, sondern an d e r S e k u n d e n a c h s e zu bestimmen. Dementsprechend sind die meisten Angaben der Fabriken aufzufassen. Diese Drehmomente entsprechen ungefähr den folgenden Mittelwerten bei Dauerbelastung:

Für Selbstanläufer . . .	500 bis 600 cmg,
für Anwerfmotore . . .	300 bis 400 cmg.

f) Magnetische Nebenschlüsse

Der im vorstehenden Abschnitt erwähnte magnetische Nebenschluß bietet den Kraftlinien zu dem Weg über die Zähne des Stators und Rotors einen Nebenweg. Ein solcher Nebenweg kann ein geschlossener und ein durch Luftspalte unterbrochener sein. Man denke sich nach Abbildung 11 unter die beiden Schrauben des Joches *c* eine Brücke aus Eisen geklemmt. Diese bildet dann einen geschlossenen Nebenschluß, der parallel zu dem über den Rotor fließenden Fluß liegt. Die durch ihn vom Rotor abgelenkten Kraftlinien verhalten sich zu dem Hauptfluß wie der magnetische Widerstand der Brücke zu dem durch Stator und Rotor gebildeten Widerstand.

In Abbildung 20 ist ein magnetischer Nebenschluß mit Luftspalt dargestellt, wie er beispielsweise als Summer in elektrischen Weckern Verwendung findet. Das Nebenschlußisen *a* bildet mit dem Pol *b* den Luftspalt *c*, so daß bei Stromschluß der Anker *d* angezogen wird. Eine Fabrik benutzt einen geschlossenen Nebenschluß, um die gleiche

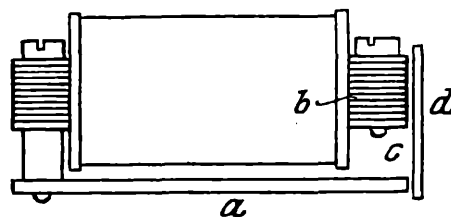


Abb. 20. Magnetischer Nebenschluß mit Luftspalt

Erregerspule für 110 und 220 Volt zu verwenden. Für 110 Volt arbeitet die Uhr ohne und für 220 Volt mit dem Nebenschlußbügel.

g) Motorgeräusche

Im Abschnitt c ist die Rotorlagerung besprochen worden, die einen Hauptanteil an den Motorgeräuschen hat. Wie kein zweiter Techniker ist der Uhrmacher imstande, mangelhafte Rotorlager der Kleinstmotoren fachmännisch zu beurteilen. Das Stiftlager wird sicher das geräuschloseste und auch haltbarste sein, weil es die längste Führung hat und nicht von zwei verschiedenen Zapfengeräuschen abhängig ist.

Weiter ist das Geräusch von der Höhenluft beeinflusst, die so knapp wie möglich sein soll und vorteilhafterweise noch durch eine schwache Spreizfeder abgefedert sein kann. Bei Zapfenlagerung müssen beide Zapfen in allerbesten Ordnung sein, und die Zapfenlöcher sollen lang genug, genau gerade gebohrt und nicht im geringsten zu weit sein. Neuerdings ist man zu abgeschrägten Zapfen mit Deckplatten übergegangen; als Deckplatte wird eine in der Achsrichtung einstellbare Schraube benutzt. Jedenfalls ergibt es sich aus der Praxis, daß ein genau hergestelltes Stiftlager mit federnder, geringer Höhenluft eine fast vollkommene Geräuschlosigkeit des Rotorlaufs zu erzielen ver-

mag. Dagegen ist ein aus Isoliermaterial hergestelltes Lager mit Deckungen aus gleichem Material erheblich geräuschvoller.

Eine zweite Geräusch-Ursache bildet ein mangelhafter Eingriff des Rotortriebes in das Läuferad.

Die dritte Möglichkeit bildet ein verzerrter, nicht sinusförmiger Wechselstrom mit einer Kurve ähnlich wie nach Abbildung 3. Dieser erregt die im Netz liegenden Elektromagnetsysteme bei jedem halben Wechsel nicht in gleichmäßigem, sondern in ungleichmäßigem Ansteigen und Abfallen der Stromkurve, wodurch ein verstärktes Brummen des Magnetsystemes entsteht. Da dieser Fehler eine Folge ungünstiger Nutenzahl oder mangelhafter Formgebung der Nuten und Pole der Generatoren darstellt, der eine stärkere Ausbildung höherer harmonischer Frequenzen begünstigt, so ist seine Wirkung auf die Synchronuhren nur abschwächbar durch eine ganz besonders gute Vernietung der Statorbleche und eine sehr sorgfältige Rotorlagerung. Durch diesen Einfluß der Stromform ist es auch zu erklären, daß manche Synchronuhren beim Uhrmacher ganz geräuschlos sind und nachher zu seinem größten Erstaunen sich die an einen anderen Netzteil angeschlossenen Kunden über Geräusche beschweren.

Eine Durchsicht der verschiedenen Fabrikate ergibt weiter noch eine vierte Möglichkeit der Geräuschbildung, nämlich Resonanzerscheinungen zwischen der Eigenschwingung der Rotorschwingmasse und der Frequenz des Stromes. Liegt die Frequenz der Eigenschwingung in der Nähe der Stromfrequenz, so pendelt sie sich auf zu rhythmischen Zitterbewegungen im Rotorlager, die ein besonderes Geräusch verursachen. Durch eine Änderung des Rotorgewichts oder des Durchmessers ist der Fehler zu beheben.

h) Die Anwerfvorrichtung

Sie hat den Zweck, den vorher unter Strom gesetzten Motor dadurch in Synchronismus zu bringen, daß der Rotor in eine gegenüber seiner synchronen Drehzahl höhere Drehzahl kommt. Das geschieht meistens durch einen unter Federdruck stehenden Hebel, dessen Drehpunkt zu der Rotorachse versetzt ist, und dessen Anwerferarm bei Rückwärtsführung von Hand in die Rotorzähne eingreifen soll, um den Rotor um einige Zahnteilungen nach rückwärts mitzunehmen, so daß nach Loslassen des Hebels ein Vorwärtsschnellen des Hebels dem Rotor einen genügenden Antrieb erteilt.

Nun kommt es aber sehr häufig vor, daß der Rotor in einer Stellung steht, die es dem Anwurfarm nicht ermöglicht, in eine Zahnücke einzugreifen; er stößt dann direkt auf einen Zahn auf. Diese Fälle sind bei jeder Uhr mit Anwerfmotor durchaus unvermeidlich. Dementsprechend soll die Anwerfvorrichtung derartig durchgebildet sein,

daß auch dann der Rotor um einen genügenden Winkel nach rückwärts mitgenommen wird, um bei dem Vorwärtsschnellen den erforderlichen Antrieb zu erhalten. Das erfolgt dann mit Sicherheit, wenn der Anwerfarm quer zu seiner Bewegungsebene einen dünnen Stahlstift trägt, der in die Zähne eingreift oder sich an einen Zahn anlegt, wenn er lang genug ist, um bei einem Anlegen an einen Zahn nicht verbogen zu werden. Es gibt Fabrikate, deren Anwerfvorrichtung versagt, wenn der Anwerfarm sich an einen Zahn anlegt; es gibt auch solche, bei denen in jeder Rotorstellung das Anwerfen mit Sicherheit erfolgt. Ein Versagen der Anwerfvorrichtung macht sich dem Besitzer solcher Uhren sehr unliebsam bemerkbar.

Außerdem gibt es in- und ausländische Fabrikate, deren ganze Anwerfvorrichtung in einem Knopf besteht, der entweder auf die verlängerte Welle des Motorankers oder auf die eines Übersetzungsrades gesteckt ist, so daß man durch Drehen des Knopfes den Motor anwirft. Diese Anordnung ist sehr einfach und sicher wirkend.

Zu den Anwerfvorrichtungen gehören sinnfällig auch die „Nachstellvorrichtungen“, die dazu dienen, an unzugängigen Stellen angebrachte Synchronuhren nach einem Stromausfall wieder auf genaue Zeit einzustellen. Eine derartige Einrichtung ist im Abschnitt 10 f) beschrieben.

i) Zeigerwerk und Zeiger

Die ersten Fabrikate mit Anwerfmotor wurden zum Teil mit einer sich drehenden Sichtscheibe, zum Teil mit einem konzentrisch angeordneten Sekundenzeiger versehen. Heute wird fast ausschließlich der Sekundenzeiger angebracht, was hinsichtlich der Schönheit des Zifferblattes zu begrüßen ist. Daher laufen bei diesen Synchronuhren drei Zeiger übereinander, und zwar, gänzlich gegen die althergebrachte Regel, der Sekundenzeiger als oberster. Der Grund dieser Abnormität ist in konstruktiven Verhältnissen zu suchen, die alte Gewohnheiten nicht beiseite schieben. Hierdurch ist eine nicht unerhebliche Unbequemlichkeit in der Zeigereinstellung geschaffen worden. Denn es ist nicht bequem, bei Uhren mit Zifferblattlünette und Vordereinstellung des Minutenzeigers von Hand den Sekundenzeiger störend im Wege zu haben; der Laie wird ihn leicht abbrechen, oder man muß ihn erheblich kürzen, damit er aus dem Bereich der Minutenskala herauskommt. Eine Fabrik hat diesem Umstand Rechnung getragen; sie läßt den Sekundenzeiger unterhalb der beiden anderen umlaufen.

Andererseits hat der Sekundenzeiger den Nachteil, daß er in Netzen mit nicht unerheblichen Frequenzabweichungen zwischen zwei Regulierungen unliebsam diese Zeitunterschiede aufdeckt. Doch will es scheinen, als ob dieser Mangel mehr theoretischer Art sei. Denn es wird sehr selten

einen Nichtfachmann geben, der solche geringen Gangfehler festzustellen vermag. Mit Hilfe der oft ungenauen Radio-Zeitansagen ist das jedenfalls nicht möglich, sondern nur durch die Aufnahme der Zeitsignale, die von der deutschen Seewarte gegeben werden.

Das Ein- und Nachstellen der Zeiger mittels des rückwärts angebrachten Richtknopfes ist bei einigen Fabrikaten noch mangelhaft. Man findet Werke, deren genaues Einstellen auf die Minute infolge einer zu hohen Übersetzung nur schwer möglich ist, während man bei anderen endlos lange Zeit den Knopf drehen muß, um die Uhr um einige Stunden vor- oder rückwärts nachzustellen. Es bestehen keine Schwierigkeiten, solche Fehler zu vermeiden!

Die Synchronuhr als Kurzzeitmesser

Die Vereinigung einer außerordentlich genauen Zeitanzeige mit genauester Ablesbarkeit mittels des großen Sekundenzeigers ist ein Vorzug der Synchronuhren, wie er bisher nur hochwertigen Pendeluhrn eigen war, und der anscheinend weder von dem Verkäufer noch von dem Käufer genügend gewürdigt worden ist. Denn sowohl im privaten wie im geschäftlichen Leben gibt es viele Fälle, die eine pünktliche Feststellung bestimmter Zeitpunkte oder kurzer Zeitabschnitte wünschenswert machen. Als solche Fälle seien beispielsweise genannt: Das Vergleichen von Taschenuhr- oder Zimmeruhrständen, das Abzählen der Pulsschläge Kranker, besondere Hausfrauenarbeiten wie z. B. sachgemäßes Eierkochen, die Feststellung der Entschlußkraft des Menschen bei Arbeit und Spiel usw. Und wenn die Entwicklung der Großkraftwerke so weit vorgeschritten sein wird, daß die selbsttätige Frequenzregulierung allgemeine Anwendung findet, so werden wir in der Synchronuhr eine Sportuhr haben können, die sowohl an Genauigkeit der Abstoppszeiten nicht mehr zu übertreffen wie auch in der Preislage günstig gelegen ist.

Es dürfte angebracht sein, daß die Interessenten von dem Verkäufer auf derartige Vorteile der Synchronuhr immer wieder hingewiesen werden.

6. Die Synchronuhren mit Selbstanläufer

Die Uhren mit selbstanlaufendem Motor unterscheiden sich von denen mit Anwerfmotor in ihrer Konstruktion nur durch den Fortfall der Anwerfvorrichtung und vielfach noch des Sekundenzeigers, an dessen Stelle eine sich drehende Sichtscheibe oder eine Fallklappe tritt. Die Sichtscheibe wird von der AEG, die Fallscheibe von Siemens & Halske angewandt. Die Motoren mit Selbstanlauf sind im Teil 4, Abschnitt c), eingehend beschrieben.

Es werden Kleinstmotoren für Zimmeruhren und stärkere für große Uhren bis zu 2 m Zifferblattdurchmesser sowie zum Antrieb von Tarif- und Meßgeräten von beiden genannten Firmen gebaut. Beide Firmen liefern auch Einzelwerke zum Einbau in Innen- und Außenuhren.

Die Werke für Zifferdurchmesser über 50 cm werden von beiden Firmen ohne Sichtscheibe oder Fallklappe geliefert; die Firma Siemens & Halske empfiehlt, parallel zu den großen Uhren ein **F a l l k l a p p e n - r e l a i s** zu schalten und dieses an einem Ort mit ständiger Aufsicht anzubringen.

Die selbstanlaufenden Motoren haben vor den Anwerfmotoren die **V o r t e i l e**, daß sie für Uhren mit Gangreserve, für Schaltuhren und Registrierwerke unentbehrlich sind, und daß ihr Drehmoment höher ist. Dem stehen aber auch **N a c h t e i l e** gegenüber. Erstens ist ihr Preis ein wesentlich höherer, was für Küchen-, Stil- und Weckuhren immer ausschlaggebend bleiben wird. Zweitens ist ihre Drehzahl eine höhere, so daß dem Verschleiß der Lager besondere Aufmerksamkeit zu schenken bleibt. Drittens wird die mit Selbstanläufer versehene Synchronuhr ohne Gangreserve nach Stromausfällen nicht immer die genaue Zeit anzeigen, weil besonders während eines kurzzeitigen Ausfalls das Stillstehen der Sichtscheibe nicht beachtet wurde. Für den Selbstanläufer ist aus diesem Grunde die **F a l l s c h e i b e**, die von Hand hochgehoben werden muß, sehr viel zweckmäßiger als die Sichtscheibe. Viertens wird durch die Verwendung des Selbstanläufers die Werktiefe stark erhöht, so daß es nicht möglich ist, in Anwendung des Selbstläufers besonders flache Stiluhren und Wanduhren herzustellen.

Somit darf gefolgert werden, daß jeder Motortype besondere Verwendungsmöglichkeiten eigen sind, und daß die normale einfache Synchronuhr auf den Anwerfmotor abgestimmt ist und wohl auch bleiben wird.

7. Betrieb mit Anwerfmotor oder mit Selbstanläufer?

Die Frage, mit welcher Motorart eine Synchronuhr zu versehen ist, ist durchaus nicht nur von dem Gesichtspunkt des Großstädtlers aus zu beurteilen, wie das so oft und nachdrücklich geschieht. Einerseits regen Wirtschaftsgruppen und Fachpresse den Fachmann an, sich dem Vertrieb von Synchronuhren zu widmen, um ein stark zunehmendes Absatzgebiet in die Hände zu bekommen. Andererseits aber werden Werturteile über Einrichtungen an Synchronuhren abgegeben, die sich ausschließlich auf die hohe Betriebssicherheit der großstädtischen Netze stützen und dadurch zu einer schiefen Einstellung zu den tatsächlichen Verhältnissen Anlaß geben. Es wird besonders auf die gute Netzvermaschung hingewiesen, die tadellose Betriebsergebnisse der Synchronuhren begründet und die einfachste Uhren mit Anwerfmotor ohne weiteres zu verwenden gestattet.

Eindeutig sei aber darauf aufmerksam gemacht, daß zwischen den sehr gut vermaschten Netzen der Großstädte und jedem Überlandnetz mit seinen angeschlossenen Freileitungsverteilungs- und Ortsnetzen hinsichtlich der Betriebssicherheit und der Störungen, also auch hinsichtlich der Betriebsverhältnisse von Synchronuhren, ein sehr großer Unterschied besteht.

Während in den Großstadtnetzen Jahre vergehen können, bis betriebs-technisch ein einziger Stromausfall entsteht, häufen sich die in Überlandnetzen unbedingt erforderlichen, **a b s i c h t l i c h e n** Stromunterbrechungen jährlich zu Dutzenden. Die Hochspannungsleitungen der Überlandwerke sind fast ausnahmslos „Stichleitungen“, an denen die kleinstädtischen und Orts-Transformatoren liegen. Jede Reparatur und jeder Neuanschluß bedingen daher eine Abschaltung des ganzen rückliegenden Bezirks. Ebenso sind die Ortsnetze erstens vielfach oberirdische, und zweitens sind nur deren Hauptstränge vermascht, während die Verteilungsleitungen wie auch die Hochspannungsleitungen aus Stichleitungen bestehen. So bedeutet jede Reparatur und jede Erweiterung des Ortsnetzes auch in jedem Fall eine zwangsmäßige Abschaltung wenigstens eines Großteiles des Ortsnetzes.

Noch bedeutsamer für den Vertrieb von Synchronuhren, weil im Sommer vielfach vorkommend, sind die durch **Gewitter** in den ländlichen Bezirken vorkommenden Störungen. Nur in wenigen Fällen, nämlich bei unmittelbaren Einschlägen in das Hoch- oder Niederspan-

nungsnetz infolge von Sicherungsdurchschlägen und Ölschalterausfällen, wirken sich diese Störungen auf den direkten Betrieb aus; die eingeschalteten größeren Motoren laufen meist weiter. Aber das Licht zuckt mehr oder weniger stark, es wird für Bruchteile einer Sekunde oder für einige Sekunden schwach, ohne ganz zu erlöschen. In 95 Fällen von hundert dieser Art von Störungen ist nicht ein direkter Einschlag in die Leitungen, sondern die Induktionswirkung von in der Nähe der Leitungen verlaufenden Blitzen die Ursache. Sie wirkt sich dahin aus, daß während des Verlaufs der Entladung eine Anzahl gleichgerichteter Wechsel des Stromes in ihrem Spannungswert stark geschwächt werden. Dadurch bleibt aber der Rotor des Anwerfmotors der Synchronuhren um ein Geringes in der Drehzahl zurück und fällt aus dem Tritt — die Uhr bleibt stehen. Ein mir erst vor wenigen Tagen vorgekommener Fall soll dies erhärten.

Ein abends um 21 Uhr einsetzendes Gewitter brachte schon kurz nach Beginn die erwähnten Zuckungen der Lichtstärke meiner Lampen. Um 21¹⁴ Uhr blieben meine drei eingeschalteten Synchronuhren stehen. Als dann um 22³⁰ Uhr das Gewitter nachließ, mußte ich eine bei mir zum Besuch weilende Verwandte nach Hause in die 4 km entfernte Großstadt bringen. In der Wohnung angelangt, sah ich sofort nach ihrem Synchronwecker. Diese an das städtische Kabelnetz angeschlossene Uhr war nicht stehengeblieben. Dann sah ich mich um nach dem Zeigerstand der Synchronuhr eines Uhrmachers der Stadt; diese Uhr hatte auch den Dienst versagt, und zwar drei Minuten später als meine eigenen. Mir war es zunächst rätselhaft, daß diese Uhr gestört war und die meiner Verwandten nicht. Die Ursache lag darin, daß das Gehäuse dieser Uhr außerhalb des durch Gas- und Wasserleitungen ableitenden Gebäudes lag. Infolgedessen waren hier die Spulenwindungen der Straßenuhr induziert worden und der Motor außer Tritt gefallen. Meine eigenen Uhren hatte ich vor dem Abmarsch wieder angeworfen. Aber am nächsten Morgen wurde meine Tochter von ihrem Synchronwecker nicht geweckt; er stand auf 4¹⁵ Uhr. Während der Nacht hatte nämlich das Gewitter sich dauernd, wenn auch schwach, noch bemerkbar gemacht, und auch diese schwachen Blitzschläge aus weiter Entfernung hatten genügt, meine Uhren nochmals zum Stillstand zu bringen.

Meine Ausführungen belegen wohl einwandfrei die Forderung: In den an Überlandleitungen liegenden Freileitungs-Ortsnetzen müssen die Synchronuhren mit einer Vorrichtung versehen sein, die kurzdauernde Störungen, wie sie von Gewittern herrühren, unschädlich machen. Nach dem heutigen Stand der Technik wird diese Forderung nur von dem Selbstanläufer erfüllt. Seine Verwendung bedingt aber einen erheblich höheren Preis der Uhr, und diese Tatsache ist besonders auf dem Lande sehr erschwerend für die Einführung der

Synchronuhr. Denn auf dem Lande und in der Kleinstadt wird mit dem Gelde meist viel mehr gerechnet als in der Großstadt. Wenn man aber bedenkt, daß alle deutschen Großstädte zusammen nur rund 20 Millionen Menschen erfassen, also noch nicht den dritten Teil der Gesamtbevölkerung bilden, so ergibt sich daraus, daß das Geschäft mit Synchronuhren erst dann sich wirklich ausdehnen kann, wenn auch dem Landbewohner eine Synchronuhr geboten wird, die sich sowohl hinsichtlich der gegebenen Betriebsbedingungen als auch des Preises den Bedürfnissen gut anpaßt.

Es ist nun vorgeschlagen worden, eine Zusatzeinrichtung zu verwenden, die nach einer Stromunterbrechung bei Stromrückkehr ein akustisches Zeichen gibt. Dieser Vorschlag bedeutet wohl eine Verkürzung der ausgefallenen Zeit, weil der Besitzer bei Ertönen des Störungszeichens die Uhr neu einstellen wird. Das aber gilt nur für die Tageszeiten; denn nachts (Nachtgewitter sind häufig!) wird es überhört, und auch kann man es niemandem zumuten, einer Uhr wegen im Schlaf gestört zu werden. Besonders aber hilft die Vorrichtung nicht über die Störungen durch Gewitter direkt hinweg. Daher dürfte es sich darum handeln, solange die Selbstanläufer erheblich höher im Preise stehen als die Anwerfmotoren, an die Synchronuhren mit Anwerfmotoren eine besondere Vorrichtung anzubringen, die für die ersten fünf Sekunden eines jeden Spannungsabfalls im Netz selbsttätig eine mechanische Hilfskraft derartig bereitstellt, daß sie den Rotor mit wenigstens normaler Drehzahl antreibt.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, daß die Anwendung des Selbstanläufers bei an Überlandnetzen liegenden Synchronuhren infolge der nicht selten vorkommenden absichtlichen Stromabschaltungen zu erheblichen Zeitdifferenzen dieser Uhren führen kann. Findet beispielsweise, wie es in Überlandnetzen üblich ist, an einem Sonntag eine halb- oder auch mehrstündliche Stromabschaltung statt, so ist anzunehmen, daß viele Besitzer von Synchronuhren den stillstehenden Sekundenzeiger oder die Sichtscheibe nicht beachten. Die Uhren laufen dann nach Stromrückkehr selbsttätig wieder an, aber mit falscher Zeitangabe.

Es ist somit festzustellen, daß den in Überlandnetzen herrschenden Betriebsverhältnissen für die Verbreitung der Synchronuhren besonders Rechnung zu tragen ist, und zwar in der nur allein möglichen Form einer Zusatzkonstruktion der Uhren.

8. Betrieb ohne oder mit Gangreserve?

Es gibt eine Anzahl von Verwendungsfällen der Synchronuhren, bei denen ein Stehenbleiben der Uhren infolge des Aussetzens des Stromes unbedingt verhindert werden muß. In solchen Fällen benutzt man Uhren mit Gangreserve. Im Prinzip bestehen sie aus zwei Werken, dem Synchronuhrwerk und einem Zusatzwerk mit mechanischem Antrieb, das bei Stromausfall selbsttätig den Antrieb der Zeiger übernimmt, um bei Stromrückkehr wieder abgeschaltet zu werden. In mehr oder minder genialer Lösung sind bereits recht viele Konstruktionen mit Gangreserve entstanden, die im Abschnitt 10 d) eingehend beschrieben sind.

Es darf behauptet werden, daß in allen städtischen Starkstrom-Kabelnetzen die Unterbrechungen der Stromlieferung so selten sind, daß die allgemeine Verwendung von Synchronuhren mit Gangreserve eine Vergeudung von Material und Kapital wäre. So hat der Verfasser in den Jahren 1924/1925 in dem städtischen Netz Wiesbaden eine Synchronuhr geprüft, die innerhalb zweier Jahre einmal infolge Stromausfall stehenblieb.

Ganz andere Verhältnisse bestehen in allen den Städten, deren Stromverteilungsnetz aus Freileitungen besteht. Hier kommen in engeren Zwischenräumen Stromunterbrechungen vor, die dann sich noch vermehren, wenn die Stadt an ein Überlandnetz angeschlossen ist. Mit der weiteren Verbreitung der Synchronuhr wird daher ein Stromausfall sich immer mehr dahin auswirken, daß plötzlich ein Haus, ja ganze Straßenzüge oder Stadtviertel ohne eine zuverlässige Zeitanzeige sind, weil alle Synchronuhren stehenblieben. Es wird sich somit mehr und mehr das Bedürfnis herausstellen, daß in jeder an einem Freileitungsnetz liegenden Wohnung mindestens eine Synchronuhr mit Gangreserve vorhanden sein sollte.

Weiter dürfen die in den Büros, Werkstätten und Fabriken vorhandenen Uhren nicht stehenbleiben, weil Arbeit und Betriebsumstände auf die regelmäßige Zeitanzeige angewiesen sind. Die an den Arbeits- und Betriebsstätten vorhandenen Synchronuhren müssen daher mit Gangreserve ausgerüstet sein.

Die an Überlandnetze angeschlossenen ländlichen Ortschaften mit Freileitungsnetzen werden für Synchronuhren mit Gangreserve kaum aufnahmefähig sein, und zwar wegen des wesentlich erhöhten Preises

dieser Uhren. Es kommt hier vielmehr darauf an, dem Landbewohner eine billige Synchronuhr zu geben, die auf Gewittereinwirkungen nicht anspricht.

Während also die Gangreserve für Synchronuhren in verkabelten Netzen und für die Landbevölkerung kein dringendes Erfordernis ist, wird sie für die an Freileitungen liegende städtische Bevölkerung sowie für alle Arbeitsräume ein Bedürfnis befriedigen.

Hinsichtlich der Bedürfnisfrage ist es noch zweifelhaft, ob die Praxis der kommenden Jahre die heutigen Erkenntnisse umgestalten wird oder nicht. Denn wenn es etwa gelingen sollte, die Synchronuhr mit Gangreserve gegenüber der Uhr mit Anwerfmotor zu einem nur wenig erhöhten Preis zu liefern, so wäre damit die Frage geklärt. Das wäre voraussichtlich der beste Weg für die Durchführung der Bedarfsdeckung ländlicher Ortschaften. Läßt sich diese Möglichkeit aber nicht erreichen, so muß mit einer Zwischenkonstruktion gerechnet werden, die man etwa „Synchronuhr mit Kurzzeit-Gangreserve“ benennen könnte. Denn es kann dem verkaufenden Fachmanne nicht oft genug ins Gedächtnis gerufen werden, daß, besonders in den gewitterreichen Gebirgsgegenden und in der Tiefebene Norddeutschlands, die an einem Freileitungsnetz liegende normale Synchronuhr mit Anwerfmotor im Sommer häufig stehenbleibt. Somit muß die Belieferung sehr großer Gebiete durch eine Sonderkonstruktion dann ermöglicht werden, wenn der Preis der Uhren mit Gangreserve deren Verbreitung in ländlichen Kreisen erschwert.

9. Elektrizitätswerke mit Frequenzregulierung

Damit sich jeder Fachmann davon überzeugen kann, ob das seinen Ort mit Dreh- oder Wechselstrom beliefernde Elektrizitätswerk die Frequenzregulierung durchführt oder nicht, sind in der nachstehenden Liste diejenigen Werke aufgeführt, deren Netze frequenzüberwachten Strom liefern. Die Liste ist nach dem Stand vom 22. 11. 1935 von der Wirtschaftsgruppe „Elektrizitätsversorgung“ aufgestellt worden.

Jeder Fachmann weiß oder kann erfragen, welches Werk ihm den Wechsel- oder Drehstrom liefert. Findet er dieses Werk in der Liste aufgeführt, so kann er sich dem Vertrieb der Synchronuhren mit allem Eifer widmen. Der Sitz der Werke erscheint in alphabetischer Ordnung.

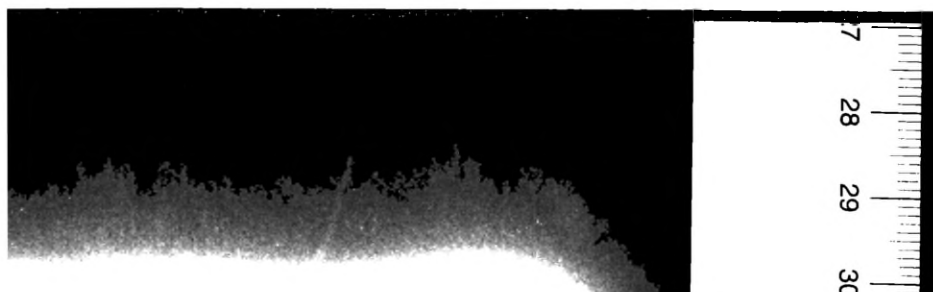
Sitz des Werkes	Benennung des Werkes
Achern	Rheinische Elektrizitätsgesellschaft, Überlandwerk Achern
Auma (Thür.)	Kraftwerke Sachsen-Thüringen A.-G.
Altona (Elbe)	Elektrizitätswerk Unterelbe A.-G.
Apolda	Thüringische Elektrizitäts- und Gas-Werke A.-G.
Artern (Prov. Sa.)	Arterner Elektrizitätswerke A.-G.
Baden-Baden	Städtische Werke A.-G.
Bamberg	Überlandwerk Oberfranken A.-G.
Bammental	Elektrizitätswerk Bammental G. m. b. H.
Bayreuth	Bayerische Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft A.-G.
Berlin NW 7	Berliner Städtische Elektrizitätswerke A.-G. (Bewag) (für Rummelsburg, Moabit, Klingenberg, Charlottenburg)
Berlin W 9	Gesellschaft für Elektrizitäts-Anlagen m. b. H. (für die Werke: Saalfeld, Bergen, Rügen und Zossen)
Berlin W 62	Elektrowerke A.-G. Trattendorf, Zschornewitz
Berlin W 62	Märkisches Elektrizitätswerk A.-G. Finkenherd
Berlin W 35	Preußische Elektrizitäts-A.-G. Ahlen
Berlin-Charlottenburg 2	Brandenburgische Elektrizitäts-, Gas- und Wasserwerke A.-G. (für Wasserkraftwerk Borkendorf und Dampfkraftwerk Lehnshuh)
Berlin-Wilmersdorf . . .	Elektrizitätswerk Südwest A.-G. Wilmersdorf
Biberach/Riß	Oberschwäbische Elektrizitätswerke
Braunsberg	Überlandzentrale des Kreises Braunsberg
Braunschweig	Elektrizitätswerk und Straßenbahn Braunschweig A.-G.
Bremen	Verwaltung der Erleuchtungs- und Wasserwerke
Bremen	Überlandwerk Nord-Hannover A.-G., Elektrizitätsverband Stade

Sitz des Werkes	Benennung des Werkes
Bremerhaven	Städtische Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke
Breslau I	Elektrizitätswerk Schlesien A.-G., Tschechnitz
Breslau	Städtische Elektrizitätswerke
Brilon-Stadt	Elektrizitätsverband Büren-Brilon-Wittgenstein G. m. b. H.
Celle	Städtisches Elektrizitätswerk Celle
Chemnitz	Elektrizitätswerk der Stadt Chemnitz
Coburg	Die Direktion der Städtischen Werke
Cottbus	Städtische Werke Cottbus
Crottorf	Elektrizitätswerk Crottorf A.-G.
Dessau	Verwaltung des Elektrizitätswerkes Dessau
Dieringhausen (Rhld.) .	Kreiselektrizitätswerk Gummersbach
Dresden A 24	Aktiengesellschaft Sächsische Werke
Dresden A 1	Dresdener Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke A.-G. (Drewag)
Dresden A 40	Elektrizitätsverband Coschütz (Zweckverband)
Bad Dürrenberg	Preußische Bergwerks- und Hütten-A.-G.
Düsseldorf	Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke
Düsseldorf	Rheinische Bahngesellschaft
Einhausen (Meiningen) .	Kraftwerk Grimmenthal Elektrizitätsgesellschaft m. b. H.
Eisenach	Elektrizitätswerk Eisenach
Eisfeld (Thür.)	Kreiselektrizitätsamt des Landkreises Hildburg- hausen
Elsterberg i. V.	Elektrizitätswerk Stadt Elsterberg K.-G.
Enzberg (Wtthg.)	Gemeindeverband Elektrizitätswerke Enzberg-Mühl- hausen (G. V. E.)
Erding	Städtisches Elektrizitätswerk Erding
Erlangen	Städtische technische Werke Erlangen
Eschwege	Städtische Betriebsverwaltung
Essen	Rheinisch - Westfälisches Elektrizitätswerk A. - G., Goldenberg-Werke in Knapsack b. Köln
Eßlingen	Neckarwerke A.-G., Eßlingen a. N.
Flensburg	Kraftwerke Flensburg G. m. b. H.
Forchheim (Oberfr.) . .	Städtische technische Werke
Forst (Lausitz)	Städtisches Eltwerk
Frankenberg/Sa.	Städtische Betriebswerke
Frankfurt/Main	Direktion der Städtischen Elektrizitätswerke
Frankfurt/Main - Höchst	Main-Kraftwerke A.-G.
Freiburg i. Br.	Schluchseewerk A.-G.
Freital i. Sa.	Kraftwerke Freital A.-G.
Friedberg (Hessen) . . .	Überlandwerk Oberhessen
Friedrichshafen a. B. . .	Städtisches Elektrizitäts-, Gas- und Wasserwerk
Fröndenberg a. d. Ruhr .	Kommunale Elektrizitäts-Ges. m. b. H.
Fulda	Elektrizitätsgesellschaft Fulda A.-G.
Gelnhausen	Elektrische Überlandanlage des Kreises Gelnhausen
Gera	Kraftwerk und Straßenbahn Gera A.-G.
Gevensberg i. W.	Aktiengesellschaft für wirtschaftliche Unterneh- mungen des Ennepe-Ruhr-Kreises
Glauchau	Überlandwerk Glauchau A.-G.
Gleiwitz 1	Schlesische Elektrizitäts- und Gas-A.-G. Oberschle- sische Elektrizitätswerke

Sitz des Werkes	Benennung des Werkes
Glogau	Elektrowerke A.-G. Berlin, Elektrizitätswerk Glogau
Görlitz	Städtische Betriebswerke
Goslar	Nordharzer Kraftwerke G. m. b. H.
Gotha	Thüringer Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft A.-G.
Greiz	Städtische technische Werke
Großröhrsdorf/Sa.	Großröhrsdorfer Elektrizitätswerk G. m. b. H.
Hagen i. W.	Kommunales Elektrizitätswerk Mark A.-G.
Halberstadt	Städtische Werke Halberstadt
Halle (Saale)	Elektrizitätswerk Sachsen-Anhalt A.-G. (Esag)
Halle (Saale) 2	A. Riebeck'sche Montanwerke A.-G.
Halle (Saale)	Werke der Stadt Halle A.-G.
Hamburg 1	Hamburgische Elektrizitätswerke A.-G.
Hamburg 21	Nordwestdeutsche Kraftwerke A.-G. Wiesmoor
Hameln	Elektrizitätswerk Wesertal G. m. b. H.
Hannover	Hannover-Braunschweigische Stromversorgungs- A.-G.
Hannover-M.	Städtische Betriebswerke
Harburg-Wilhelmsburg	Städtische Werke Harburg-Wilhelmsburg
Heilbronn a. N.	Elektrizitätswerk Heilbronn a. N.
Helmstedt	Überlandzentrale Helmstedt A.-G.
Heringen (Werra)	Gewerkschaft Wintershall
Herrenberg	Elektrische Kraftübertragung Herrenberg
Hildesheim	Städtische Werke Hildesheim
Hirschsprung (Oberfr.)	Kraftwerk Hirschsprung
Idar-Oberstein 2	Oberstein-Idarer Elektrizitäts-A.-G.
Ilmenau i. Thür.	Städtische Licht- und Wasserwerke
Ipsheim	Landwirtschaftliche Überlandzentrale G. m. b. H. Ipsheim u. Umgebung
Itzehoe	Städtische Betriebswerke Itzehoe
Jena	Carl Zeiss
Karlsruhe i. B.	Badische Landeselektrizitätsversorgung A.-G. (Badenwerk)
Karlsruhe i. B.	Städtisches Gas-, Wasser- und Elektrizitäts-Amt
Kassel	Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland
Kiel	Städtische Licht- und Wasserwerke Kiel
Köln	Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke der Stadt Köln
Köln	Rheinisches Elektrizitätswerk im Braunkohlen- revier A.-G.
Königsberg i. Pr. 1	Königsberger Werke und Straßenbahn G. m. b. H.
Konstanz	Direktion der techn. Werke der Stadt Konstanz
Kötzschenbroda, Bez. Dresden	Elektrizitätsverband Gröba
Krefeld	Städtische Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke Krefeld-Ürdingen a. Rh.
Lahr (Baden)	Elektrizitätswerk Mittelbaden A.-G.
Lauchhammer (Prov.Sa.)	Mitteldeutsche Stahlwerke A.-G. Lauchhammerwerk
Leipzig C 1	Landkraftwerke Leipzig A.-G.
Leipzig C 1	Direktion der städtischen Elektrizitätswerke
Lemgo	Elektrizitäts- und Wasserwerk
Liegnitz	Aktien-Gesellschaft Elektrizitäts-Werke Liegnitz
Lindau (Bodensee)	Direktion der städtischen Elektrizitäts-, Gas- und Wasserwerke Lindau

Sitz des Werkes	Benennung des Werkes
Lübeck	Städtische Betriebe der freien u. Hansestadt Lübeck
Luckenwalde	Städtische Betriebswerke Luckenwalde
Ludwigsburg	Kraftwerk Altwürttemberg A.-G.
Ludwigshafen a. Rh.	Pfalzwerke A.-G.
Magdeburg	Magdeburger Versorgungsbetriebe A.-G.
Mainz	Kraftwerke Mainz-Wiesbaden A.-G.
Mannheim	Großkraftwerk Mannheim A.-G.
Meiningen	Meininger Licht- und Kraftwerke G. m. b. H.
Meißen (Sa.)	Elektrizitätswerk und Straßenbahn der Stadt Meißen
Mellrichstadt	Überlandwerk Röhn G. m. b. H.
Memel	Städtische Betriebswerke Memel G. m. b. H.
Mittweida i. Sa.	Städtisches Elektrizitätswerk Mittweida (Überland- zentrale)
München 37	Bayernwerk A.-G. Werk Karlsfeld
München 2 NW	Isarwerke G. m. b. H.
München 23	Rhein-Main-Donau A.-G.
München 2 NW 5	Schuckert-Betriebe A.-G., München
Neumünster	Städtische Kraft- und Wasserwerke Neumünster
Neunkirchen (Saar)	Städtisches Elektrizitätswerk
Neustadt a. d. Haardt	Technisches Amt Abt. Städtische Werke
Nordhausen a. H.	Städtisches Elektrizitätswerk
Nürnberg 2	Fränkisches Überlandwerk A.-G.
Oberaudorf (Oberbay.)	Elektrizitätswerk
Oldenburg i. O.	Landes-Elektrizitätsverband Oldenburg
Oldenburg i. O.	Stromversorgungs-Aktiengesellschaft Oldenburg- Ostfriesland
Oelsnitz i. Vogtl.	Städtisches Elektrizitätswerk
Oppeln	Städtisches Betriebsamt Oppeln
Osnabrück	Niedersächsische Kraftwerke A.-G.
Osterode a. H.	Licht- und Kraftwerke Harz
Pforzheim	Elektrizitätswerk der Stadt Pforzheim
Pinneberg	Überlandzentrale Kreis Pinneberg G. m. b. H.
Pirmasens	Städtisches Elektrizitätswerk und Straßenbahn
Plauen i. V.	Städtisches Elektrizitätswerk
Potsdam	Städtisches Elektrizitätswerk und Straßenbahn
Prenzlau	Städtische Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke
Radebeul	Zweckverband für das Elektrizitätswerk Nieder- löbnitz
Ratzeburg	Lauenburgische Landkraftwerke A.-G.
Ratzeburg	Städtische Betriebswerke
Regensburg	Oberpfalzwerke A.-G.
Regensburg	Städtisches Betriebsamt
Reichenbach i. V.	Städtisches Elektrizitätswerk
Rendsburg	Schleswig-Holsteinische Stromversorgungs-A.-G.
Rendsburg	Städtische Werke Rendsburg
Ritzow b. Stolp i. P.	Elektrische Überlandzentrale Schojow G. m. b. H.
Rosenheim	Städtisches Elektrizitätswerk
Rostock i. M.	Elektricitäts - Lieferungs - Gesellschaft Berlin, Abt. Elektricitätswerk Rostock
Saalfeld a. d. Saale	Saale-Elektrizitätswerk G. m. b. H.
Bad Salzuflen (Lippe)	Hoffmann's Stärkefabriken A.-G.
Bad Salzuflen (Lippe)	Städtisches Betriebsamt

Sitz des Werkes	Benennung des Werkes
Bad Salzungen	Städtische Werke
Selb i. B.	Städtisches Elektrizitätswerk
Siegmarsdorf	Elektrizitätswerk a. d. Lungwitz
Sigmaringen	Fürstlich Hohenzollernsches Elektrizitätswerk
Spremberg (Lausitz) . .	Kraftanlagen-A.-G.
Schkeuditz i. Sa.	Stadtbauamt
Schleswig	Städtische Betriebswerke
Schnelllingen b. Haslach	Bauer & Schönenberger A.-G. Abt. Überlandzentrale
Schweinfurt	Städtisches Elektrizitätswerk
Stendal	Altmärkische Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke G. m. b. H.
Stettin	Großkraftwerk Stettin A.-G.
Stettin-Grabow	Überlandzentrale Pommern A.-G.
Stolp i. P.	Kraftwerk Glambecksee G. m. b. H.
Stralsund	Elektrizitätswerk und Straßenbahn A.-G.
Straubing	Städtische Betriebe
Stuttgart	Technische Werke Abt. Elektrizitätswerk
Stuttgart-N.	Württembergische Landes-Elektrizitäts-A.-G.
Überlingen a. Bodensee .	Städtisches Elektrizitätswerk
Vacha (Röhrn)	Elektrizitätswerk Vacha G. m. b. H., Überlandwerk
Völklingen (Saar)	Kraftwerk Wehrden G. m. b. H.
Walsrode	Wolff & Co.
Wandsbek	Überlandleitung des Kreises Stormarn
Warendorf a. d. Ems . .	Städtische Betriebsverwaltung
Weida (Thür.)	Stadtverband Weida Abt. Elektrizitätswerk
Weimar	Thüringische Landeselektrizitätsversorgung A. - G., Thüringenwerk
Weißenfels	Städtisches Elektrizitätswerk
Wernigerode (Harz) . . .	Städtische Werke
Wildgrube (Post Beuter- sitz)	Beutersitzer Kohlenwerke
Wismar i. M.	Städtische Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke
Wunsiedel	Städtisches Elektrizitätswerk
Wuppertal-Barmen . . .	Städtische Werke Wuppertal
Wuppertal-Elberfeld . .	Bergische Elektrizitätsversorgung G. m. b. H.
Würzburg 2	Kreis-Elektrizitätsversorgung Unterfranken A.-G.
Würzburg	Städtisches Elektrizitätswerk
Zwickau i. Sa.	Erzgebirgischer Steinkohlen-Aktienverein



10. Die Konstruktionen

a) Gehwerke

Synchronuhr-Gehwerke unterscheiden sich sowohl nach der Art des Antriebsmotors (Anwerfmotor oder Selbstanläufer) wie nach der Werkgröße bzw. nach dem Zifferblattdurchmesser, für welche die Kraft des Motors zum Zeigerantrieb bemessen ist. Die verschiedenen Fabrikate sind nachstehend beschrieben, und zwar alphabetisch nach Herstellerfirmen geordnet.

AEG-Gehwerke

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) in Berlin baute bisher vier verschiedene Werke, nämlich ein kleines für Tisch- und Zimmeruhren mit langsamlaufendem Selbstanläufer, ein ebensolches mit schnelllaufendem Selbstanläufer, ein größeres Werk für Zifferblätter bis 80 cm Durchmesser und ein großes bis 200 cm Zifferblattdurchmesser, beide mit schnelllaufendem Motor; die Gehwerke der

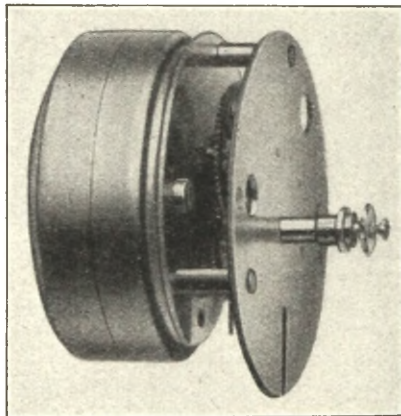


Abb. 21.
AEG-Gehwerk mit Langsamläufer

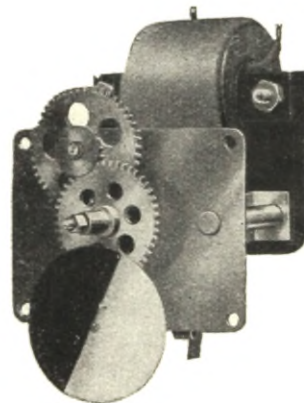


Abb. 22. Kleines AEG-Gehwerk mit Schnelläufer

kleinen und der mittleren Größe bis 80 cm werden nach neuen Mitteilungen der Firma in Zukunft mit einem Langsamläufer ausgerüstet.

Das kleine Werk mit langsamlaufendem Selbstanläufer zeigt die Abbildung 21. Der Durchmesser des runden Werkes ist demjenigen der Motorkapsel angepaßt und beträgt 55 mm. Der Motor macht 375/min Umdrehungen; das Werk ist mit Sekundenzeiger versehen.

Das bisher hergestellte kleine Werk mit schnellaufendem Selbstanläufer nach Abbildung 22 hat eine Sichtscheibe zum Erkennen von Stromunterbrechungen; es wird (wie im Bild ersichtlich) mit Montagewinkeln und auch ohne sie geliefert. Die Motordrehzahl beträgt 3000/min; die Rotorwelle läuft in Steinen, der Motor ist in eine ölgefüllte Kapsel eingeschlossen. Die Sichtscheibe kann durch einen Sekundenzeiger ersetzt werden (Ausführung in Zukunft nur mit Langsamläufer).

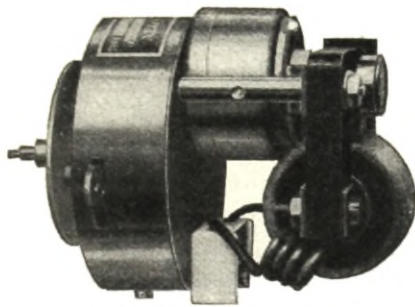


Abb. 23. AEG-Gehwerk mit Schnellläufer bis 80 cm Zifferblattdurchmesser

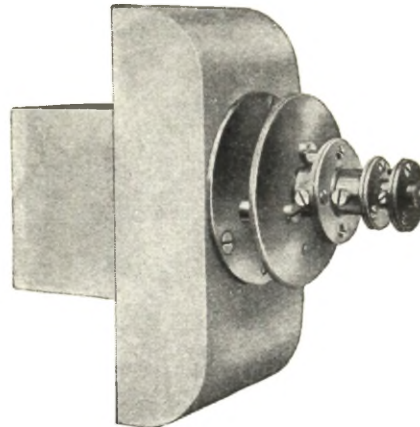


Abb. 24. AEG-Gehwerk mit Schnellläufer bis 200 cm Zifferblattdurchmesser

Das größere Werk nach Abbildung 23 mit Schnellläufer für Zifferblattdurchmesser bis zu 80 cm wird nach Wahl entweder ohne Sichtscheibe oder mit Sekundenzeiger geliefert; zum Nachstellen der Zeiger dient ein seitlich angebrachter Hebel, die Befestigung des Werkes erfolgt am Zifferblatt. (Ein Werk dieser Größe wird in Zukunft gleichfalls mit Langsamläufer ausgeführt.)

Das große Werk nach Abbildung 24 mit Schnellläufer für Zifferblattdurchmesser bis zu 200 cm ist entsprechend stärker gebaut als das vorbesprochene. Zum Zeigerstellen dient ein rückwärtig angebrachter Knopf; die Uhr wird nach Wahl ohne Sichtscheibe oder mit Sekundenzeiger geliefert.

Die Außenuhren der AEG werden mit einseitigen und auch mit doppelseitigen Zifferblättern, transparent und mit Metallzifferblättern, gebaut. Synchronuhren mit Anwerfmotor liefert die Firma nicht.

Die Assa-Synchronuhr

Die Assa-Uhr, ein Fabrikat der Firma A. Schild S. A. in Grenchen (Schweiz), zeigt die Abbildung 25. Das Werk ist mit Anwerfmotor versehen und weicht im Prinzip nicht von den deutschen Konstruktionen ab. Der Rotor macht 182,5 minutliche Umdrehungen; der Spulenkern ist nicht lamelliert, sondern besteht aus einem massiven Eisenkern von



Abb. 25. Assa-Synchronuhr mit Anwurf von vorne durch Anwerfknopf in einem Zifferblattloch

10 × 3 mm. Die Spule ist besonders groß und so abgeglichen, daß sie für alle Spannungen zwischen 110 und 220 Volt passend ist. Außergewöhnlich ist die Anordnung eines Anwerfknopfes, der in einem Loch des Zifferblattes sitzt, so daß man, wie es die Abbildung zeigt, die Uhr von vorne anwerfen kann.

Die Synchron-Lehruhr (Flume)

Eine Synchron-Lehruhr ist von der Firma Rudolf Flume in Berlin auf den Markt gebracht worden.

In Abbildung 26 sind alle Einzelteile sichtbar; ihre hauptsächlichsten sind: Die Vorderplatine 1, Hinterplatine 2, Rotorbrücke 3, Rotor mit Schwungscheibe 13, zwei Statorbleche 10, Spule 11, Sekundenrad 5, weitere Übersetzungsräder 4, 6, 7, 8, Anschlußleiste 17, Anwerfer 14, Anwerffeder 15, Werkkapsel 22.

Für das richtige Zusammensetzen und gute Arbeiten der Uhr seien folgende Winke gegeben: Die Werkmuttern müssen sehr fest angezogen werden, damit die Statorbleche 10 erschütterungsfrei montiert sind, was zur Vermeidung störender Brummgeräusche unbedingt erforderlich wird. Die Schwungscheibe soll auf dem Rotor so sitzen, daß sie sich mit leichter Reibung um die Welle drehen läßt. Hält man den Rotor mit dem Finger in seinem Lauf plötzlich an, so soll die Schwungscheibe noch rund eine Viertelumdrehung infolge der ihr innewohnenden Schwingkraft machen. Der Rotor muß durchaus sicher gelagert sein.

Die Luftspalte zwischen den Rotor- und den Statorzähnen sollen zu beiden Seiten und an allen Zähnen gleich groß sein. Ebenso sollen die Rotor- und die Statorzähne sich alle durchaus genau gegenüberstehen, wenn die Uhr unter Strom steht und der Rotor nicht angeworfen ist. Jede diesbezügliche Unsymmetrie und eine mangelhafte Rotorlagerung äußern sich in Brumm- und Summgeräuschen, die sich zu einer gewissen Stärke aufschaukeln. „Kratz“-Geräusche entstehen leicht durch ein mangelhaftes Rundlaufen der Endflächen des Rotors, wenn sich das Werk in Stirn- oder Rückenlage befindet. „Klopf“-Geräusche bilden sich aus durch eine zeitweise Berührung der Schwungscheibe mit der Rotorscheibe. Dies tritt ein, wenn die Schwungscheibe seitlich unrund läuft oder einen exzentrischen Schwerpunkt hat und dabei der Rotorscheibe recht nahe gelagert ist.

Die Uhr soll sich ferner leicht anwerfen lassen; ein dem Rotor mit dem Finger gegebener leichter Schwung muß genügen. Die Ursache eines schweren Anlaufs kann entweder ein zu großes Drehmoment (zu

starke Magnetisierung der Polzähne) bei ungenügender Schwungkraft von Rotor und Schwungscheibe oder, was meistens zutrifft, eine zu starke Bremsung der Schwungscheibe auf ihrem Ansatz durch die leichte Druckfeder sein. Dann arbeitet die Schwungscheibe ungenügend elastisch, wodurch das Einfallen des Rotors in den Synchronismus der Stromstöße erschwert oder verhindert wird. Ein zu großes Drehmoment bedingt die Verwendung einer schweren, stärkeren Rotor- und Schwungscheibe oder Schwächung des Drehmomentes durch Aufbringen von mehr Windungen auf die Spule; ein unelastisches Arbeiten der Schwungscheibe verlangt eine Schwächung ihrer Bremsfeder.

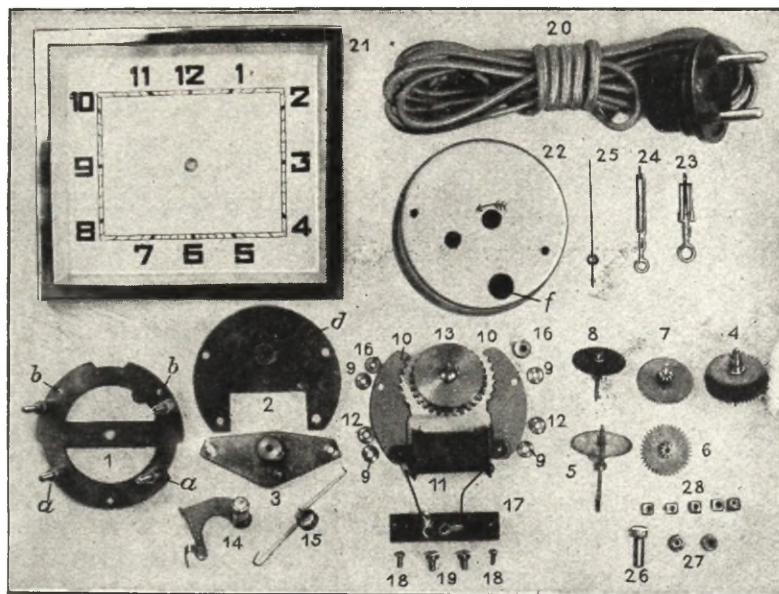


Abb. 26. Synchron-Lehruhr (Flume)

Die Spule darf im Betriebe nur hand warm werden. Wird sie heiß, so hat sich entweder ein Nebenschluß in ihren Windungen gebildet, so daß sie zu erneuern ist, oder die Uhr ist an eine für die Spule nicht vorgesehene zu hohe Spannung angeschlossen, oder auch sie wurde ursprünglich mit einer zu geringen Windungszahl versehen. Die erforderliche Drahtstärke dieser kleinen Synchronmotoren bestimmt sich allein durch die Anzahl der Windungen, die stets ein Kompromiß zwischen Drehmoment und Erwärmung darstellen. Da das Drehmoment nicht nur von der Windungszahl allein, sondern auch von der Größe der Luftspalte zwischen Stator- und Rotorzähnen abhängig ist, und da schließlich mancher Konstrukteur eine bestimmte Grenze der Drahtstärke aus Gründen der Betriebssicherheit nicht unterschreiten will, so ist es erklärlich, daß Ausmaße und Anordnung des elektrischen Teiles der ver-

schiedenen Konstruktionen auch zu ungleichen technischen Ergebnissen führen.

Das sorgfältige Studium der Flumeschen Lehrhur kann jedem Fachmann sehr empfohlen werden.

Heliowatt-Synchronuhren

Die Heliowattwerke in Berlin-Charlottenburg bauen kleine und große Werke mit Anwerfmotor, und zwar im einzelnen besonders für Tischuhren, für Wanduhren und je ein mittleres und großes Werk für Fabrik- und Außenuhren, die zum Einstellen der Zeiger mit einer besonderen, durch einen Asynchronmotor angetriebenen Einrichtung versehen werden können.

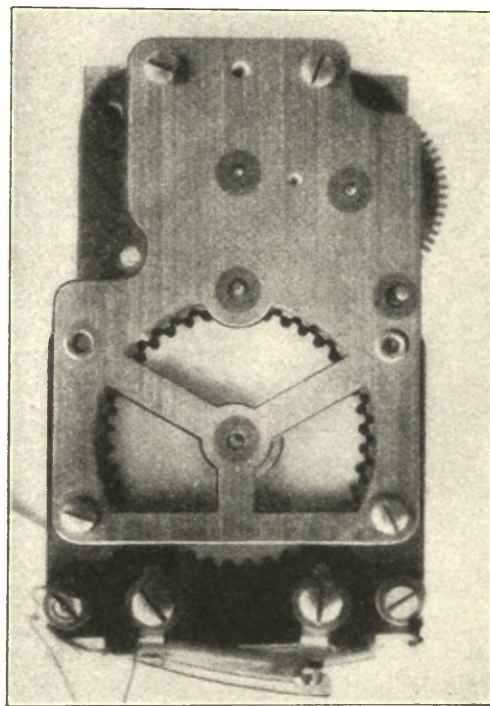


Abb. 27. Werk der Heliowatt-Tischuhr mit Knopfanwerfer

Das kleine Werk für Tischuhren zeigt die Abbildung 27 von der Rückseite. Der Rotor hat 40 Zähne und somit eine Drehzahl von 150/min. Die ganz rechts aus der Platine vorstehende Welle dient der Zeigerstellung, die in der Werkmitte vorstehende ist die Anwerfwelle; sie bringt durch Drehen eines aufgesteckten Richtknopfes den Rotor auf eine erhöhte Drehzahl. Der normale Anwerfer ist also durch einen einfachen Knopf ersetzt. Der Rotor hat Stiftlagerung; sein Fußlagerputzen ist am oberen Ende angebohrt und mit einem Filzring ausgefüllt, zu dem ein nach oben gerichtetes längeres Rohr führt, in welches das Öl eingegossen wird. Ein roter Punkt auf der Platine zeigt an, daß ein synthetisches

Öl verwendet werden soll. Der Filzring ist mit einem dünnen Novotext-Plättchen abgeschlossen, auf dem der untere Ansatz des Rotors umläuft. Der Rotorlagerstift ist in der Mitte dünner gedreht. Die Statorbleche sind an der Hinterplatine vernietet; die recht kleine Spule ist abnehmbar.

Das kleine Werk für Wanduhren nach Abbildung 28 zeigt gegenüber dem für Tischuhren zwei Abänderungen. Erstens wird der Motor durch eine sinnreiche, federnde Anwerfvorrichtung

mittels Zugstange angeworfen, und zweitens erfolgt die Zeigerstellung nicht mittels eines Knopfes, sondern durch einen federnd ausrückbaren Winkeleingriff, dessen nach oben federndes Winkelrad auf einer drehbaren langen Welle sitzt, die, wie auch die Anwerfzugstange, im Gehäuse über den Zifferblattreif nach unten vorsteht. Man kann also die Uhr sowohl anwerfen wie auch einstellen, ohne sie aus ihrer Lage zu bringen.

Die beiden größeren, zum Anlaufen, Ein- und Nachstellen der Zeiger mit einem besonderen Asynchronmotor versehenen Werke sind im Abschnitt 10 f) beschrieben.

Synchronuhr von Jauch & Schmid

Das Uhrwerk der Firma Jauch & Schmid G. m. b. H. in Schwenningen ist für Tisch-, Wand- und kleinere

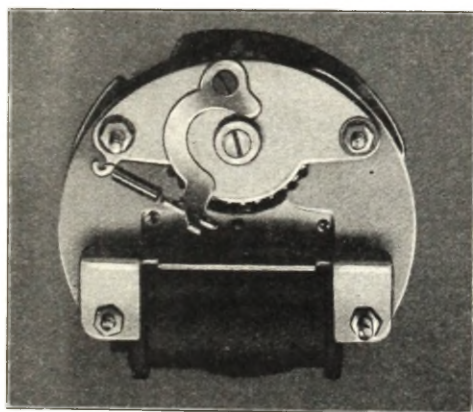


Abb. 29. Synchron-Uhrwerk von Jauch & Schmid mit Anwerfmotor

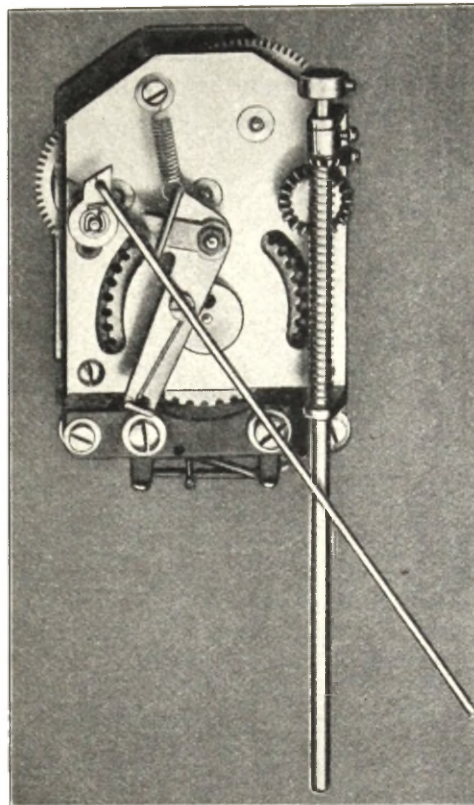


Abb. 28. Heliowatt-Wanduhr mit Zugstangenanwurf (schräge Stange) und Zeigerstellung durch Winkelradeingriff

Außenuhren bestimmt und mit einem Anwerfmotor versehen. Ihre Ansicht von der Motorseite aus zeigt die Abbildung 29. Der Rotor hat 32 Zähne und daher eine Drehzahl von 187,5/min. Er läuft mit zwei Zapfen in Messinglagern; die Höhenluft läßt sich mittels zweier Deckschrauben auf das geringste Maß einstellen.

Zu dem nutzbaren Eisenweg über die Rotorzähne ist ein Eisen-Nebenschluß in Form einer Brücke gelegt. Dieser erhöht die Selbstinduktion der Spule und setzt damit den Strom-

verbrauch herunter; eine Messung ergab eine Drosselung des Wattverbrauchs durch den Nebenschluß um 0,82 Watt. Wie bei mehreren Fabrikaten der Uhrenindustrie sind die kleinen Anschlußschrauben auf einem Isoliersteg befestigt, der an den beiden unteren Werkpfeilern verschraubt ist.

Junghans-Synchronuhren

Das Werk der Gebrüder Junghans A. G. in Schramberg ist mit einem Anwerfmotor versehen; es ist in den Abbildungen 30 und 31 dargestellt. Es ist bestimmt für Tisch- und Zimmeruhren; in der Ausführung ergibt sich ein kleiner Unterschied für den Anschluß an 110 und 220 Volt. Er besteht darin, daß für 220 Volt ein Eisen-Nebenschluß verwendet wird, wodurch es ohne Änderung der Spulengewicklung ermöglicht ist, ohne den Nebenschluß einen Spannungsbereich von 110 bis 150 und mit ihm von 220 bis 250 Volt zu bestreichen. Der Nebenschluß drosselt die Spannungen 220 bis

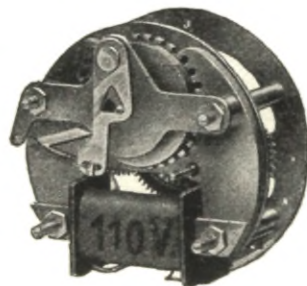


Abb. 30. Junghans-Synchronuhr mit Anwerfmotor 110 Volt

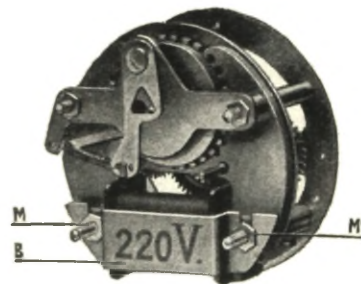


Abb. 31. Junghans-Synchronuhr mit Anwerfmotor 220 Volt (mit Eisen-Nebenschluß)

250 Volt so weit ab, daß für alle Spannungen eine ungefähr gleiche Amperewindungszahl entsteht.

Der Rotor hat 30 Zähne, entsprechend einer Drehzahl von 200/Min. Das Rotorlager stellt ein sehr genau ausgeführtes Stiftlager dar; oben wie unten ist je ein Novotext-Plättchen untergelegt, zwischen denen der Rotor umläuft. Die Höhenluft ist durch eine schwache Blattfeder, die zwischen dem oberen Isolierplättchen und der Rotorbrücke liegt, leicht federnd begrenzt. Diese Lagerung ergibt einen fast vollkommen geräuschlosen Lauf. Die schwere Schwungscheibe ist in üblicher Weise auf der Rotorwelle federnd mittels eines Vorreibers gelagert. Auch der Anwerfer hat die übliche Konstruktion; der federnde Anwerfstahldraht ist lang genug, um sicher zu wirken.

Synchronuhr von Kieninger & Obergfell

Das Werk der Firma Kieninger & Obergfell in St. Georgen ist von ganz besonderer Anordnung des Laufwerkes, wie aus der Abbildung 32 hervorgeht. Sämtliche Räder sind wie ein

Wechselrad mit durchbohrtem Messingtrieb hergestellt; sie sind zu je vier Stück auf zwei Stahlwellen übereinander angeordnet. Diese Anordnung ist besonders billig.

Der Rotor hat 30 Zähne und macht 200 Umdrehungen; seine Lagerung besteht aus zwei Zapfen, die in eingepreßten Novotext-Buchsen laufen und durch Endschrauben in der Höhenluft einstellbar sind.

Das Werk ist auf einer größeren Blindplatte angeordnet, die für den Anschluß eine aus Preßstoff bestehende doppelpolige Lüsterklemme trägt. Im übrigen unterscheidet sich die Konstruktion nicht von der bekannten Art.

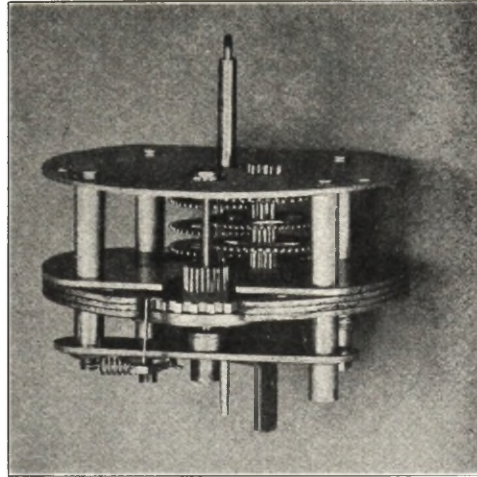


Abb. 32. Synchronuhr von Kieninger & Obergfell mit Anwerfmotor und Mehrfachlagerung der Räder auf der gleichen Welle

Kienzle-Synchronuhr

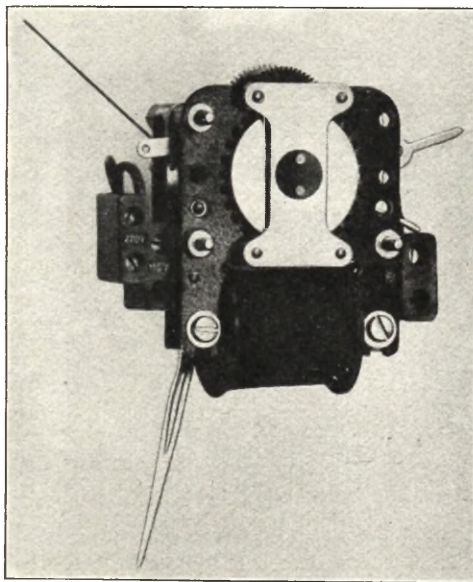


Abb. 33. Kienzle-Synchronuhr mit Sekundenzeiger, Rückansicht

Das Werk der Firma Kienzle Uhrenfabriken in Schwenningen ist ebenfalls mit einem Anwerfer ausgerüstet; es vereinigt in sich mehrere Vorzüge.

In der Abbildung 33 ist es von der Hinterseite, und zwar mit einer Spule für 110/220 Volt, und in Abbildung 34 von vorne für nur eine Spannung dargestellt.

Die Uhr zeigt nach Abbildung 34 erstens die bemerkenswerte Abweichung von der allgemeinen Konstruktion, daß der Sekundenzeiger in der für mechanische Uhren üblichen Art unterhalb der

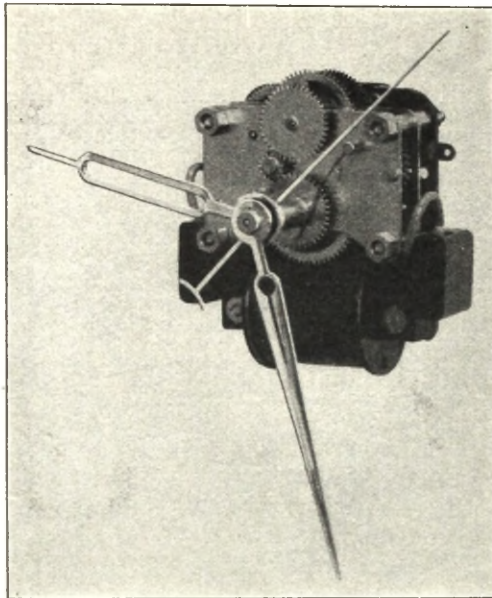


Abb. 34.
Kienzle-Synchronuhr, Vorderansicht

aus Aluminium bestehende Schwungscheibe ist auf der Rotorwelle leichtbeweglich ohne besondere Federung gelagert und in ihrer Bewegung durch ein größeres eingebautes Loch sowie einen im Rotor befestigten Führungsstift begrenzt. Unterhalb des Rotors ist am Trieb eine dünne Scheibe mit umgebogenen Zähnen befestigt. In diese Zähne greift ein Arm der Anwerfvorrichtung ein, der durch einen an der Werkhinterseite vorstehenden Knopf sowie durch eine Schnur, die in einen aus dem Werk seitlich austretenden Arm eingehängt ist, in Tätigkeit gesetzt werden kann.

beiden anderen Zeiger umläuft.

Zweitens ist die Uhr nach Abbildung 33 mit den VDE-Vorschriften entsprechenden Anschlußkörpern versehen, und drittens wird die Uhr mit Spulen für die beiden Hauptspannungen 110/220 Volt geliefert. Nach Abbildung 35 wird anstatt des Sekundenzeigers auch eine Sichtscheibe in Anwendung gebracht.

Der Rotor ist mit 30 Zähnen versehen und hat somit eine Drehzahl von 220/min. Die beiden Rotorzapfen laufen in vernieteten Novotext-Scheiben, über denen je eine Novotext-Scheibe angeordnet ist. Die

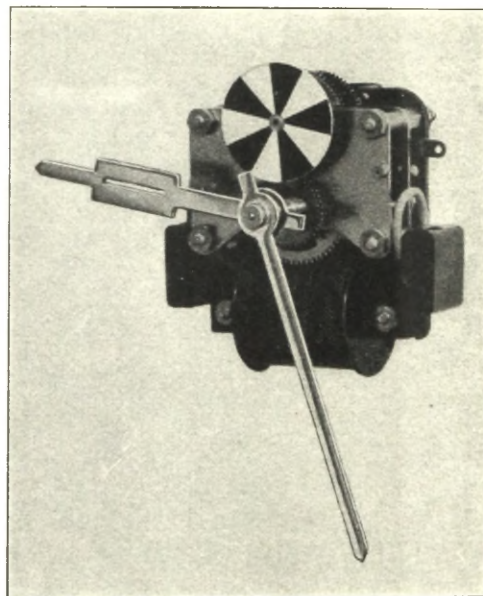


Abb. 35.
Kienzle-Synchronuhr mit Sichtscheibe

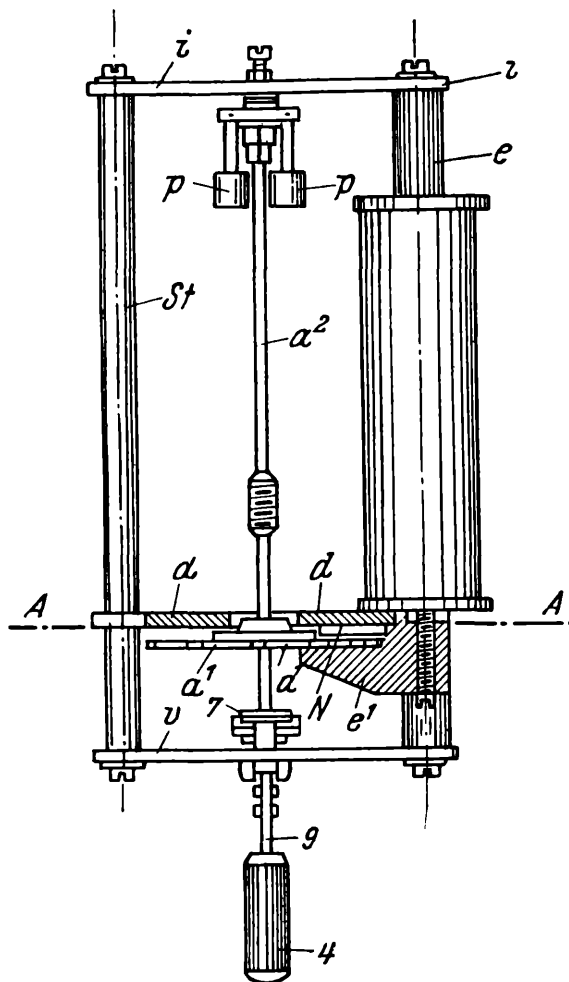


Abb. 36. Michl-Uhr mit Anwerfmotor, Seitenansicht

Der aus Eisenlamellen bestehende Motoranker (Rotor) α^1 dreht sich zwischen den über ihm angeordneten Polen NS der aus Stäben bestehenden Dauermagneten m und m^1 sowie dem unter ihm befestigten Pol e^1 des Elektromagneten e . Letztgenannter liegt nach Abbildung 37 genau in der Mitte zwischen den beiden Polen N und S . Ein dreieckig geformtes Joch i verbindet die beiden Dauermagnete m und m^1 miteinander und mit dem oberen Ende des Elektromagneten e .

Auf der Rotorwelle ist oben eine Anwerfvorrichtung mit zwei Schwingengewichten pp befestigt, die durch den Knopf 4 betätigt wird. Diese Anwerfvorrichtung arbeitet sehr gut, da sie ein langsames Abfallen der von Hand gegebenen Rotordreh-

Mauthe-Synchronuhr

Die Uhr mit Anwerfmotor der Firma Fr. Mauthe G. m. b. H. in Schwenningen ist die älteste deutsche Konstruktion mit Anwerfmotor. Da die Uhr auch mit Weckvorrichtung versehen wird, so erfolgt die Beschreibung im Abschnitt 10 c).

Michl-Synchronuhr

Die Uhr mit Anwerfmotor von R. Michl in Cosice (Tschechoslowakei) ist die älteste brauchbare Synchronuhr überhaupt. Die Abbildung 36 zeigt den Motor ohne Räderübersetzung in Seitenansicht, zu der die Abbildung 37 einen Schnitt nach der Linie AA gibt, während Abbildung 38 eine zu Abbildung 36 um 90 Grad versetzte Seitenansicht ist.

zahl und damit ein sicheres Einfallen in den Synchronismus sichert. Die nach Abbildung 36 auf der Rotorwelle angebrachte Schnecke greift in das erste Übersetzungsrad ein.

Der Rotor hat 12 Eisensegmente; folglich ergibt sich eine Drehzahl von 500/min. Die erheblichen Ausmaße, besonders die ungewöhnliche Höhe des Motors, haben eine allgemeine Einführung dieses geräuschlos laufenden und nur 0,2 Watt verbrauchenden Motors verhindert. Mit diesem Motor versehene Uhren wurden von der Firma Laplace in Cosice und später von der Böhmischemährischen Kolben A. G. in Prag-Wysocan hergestellt.

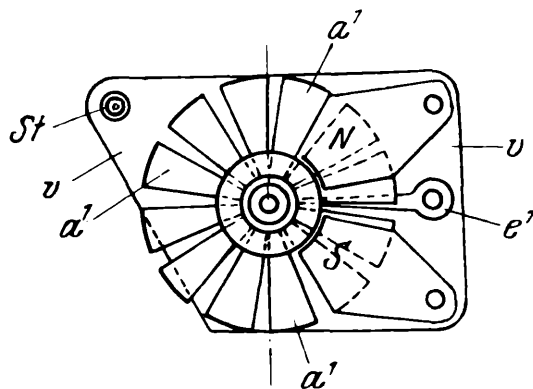


Abb. 37. Michl-Uhr, Schnitt nach Linie A—A
(in Abb. 36)

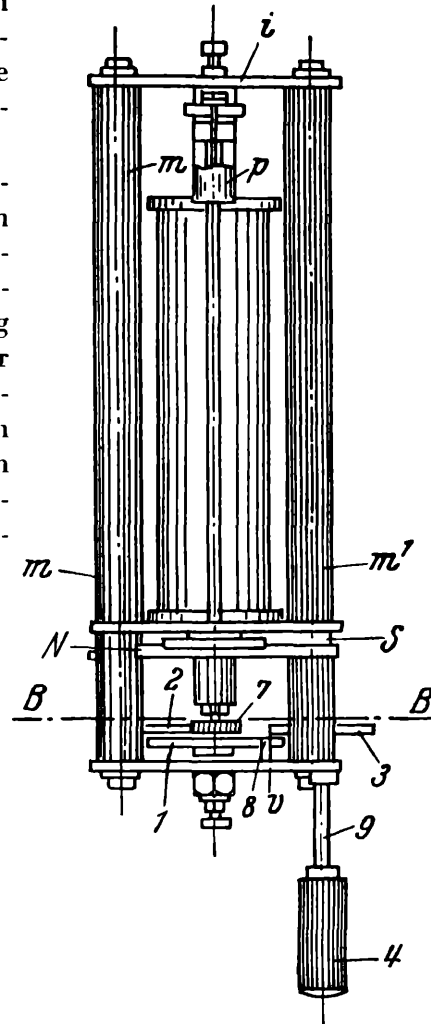


Abb. 38.
Michl-Uhr, zweite Seitenansicht

Peter-Synchronuhren

Die mit einem Anwerfmotor versehene Uhr der Firma Peter-Uhren G. m. b. H. in Rottweil a. N. wird in Abbildung 39 veranschaulicht. Sie stellt das kleinste bekannte Synchronuhrwerk dar. Die Werktiefe beträgt nur 23,5 mm und ist damit besonders geeignet, modernen Stiluhren ein sehr elegantes Äußere zu geben. Trotz der geringen Ausmaße von $48 \times 40 \times 23,5$ mm zeigt der Motor die normalen

Größenverhältnisse und ein hohes Drehmoment. Der Rotordurchmesser beträgt 30 mm, seine Stärke 2 mm.

Das sehr kräftige Stiftlager hat durch eine in dem Rotortrieb untergebrachte besondere Ölkammer eine sehr gute Ölhaltung erhalten. Die *Schwingscheibe* zeigt eine vereinfachte neue Anordnung; sie ist nicht wie üblich mittels eines Vorreibers auf der Rotorwelle befestigt, sondern sie liegt unter bekannter Anwendung einer Zwischenlage lose auf dem Rotor auf und wird durch eine an der Rotorbrücke vernietete schwache *Stahlband-Doppelfeder* in ihrer Lage gehalten. Diese Feder begrenzt zugleich die Rotorhöhenluft, und sie sichert dem Rotor in allen Lagen einen geräuschlosen Lauf.

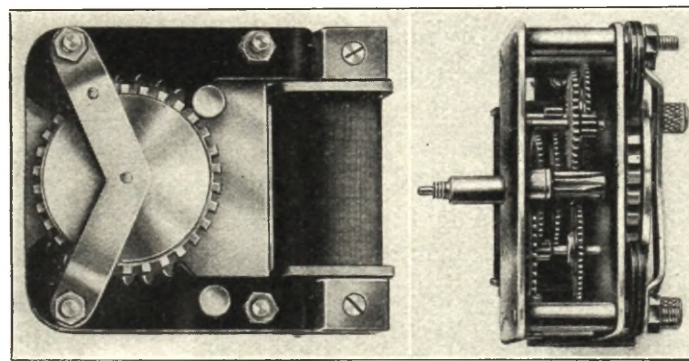


Abb. 39. Peter-Synchronuhrwerk mit Anwerfmotor

Eine weitere Neuerung ist in den nach den V. D. E.-Vorschriften konstruierten *Anschlußkörpern* zu finden, die in praktischer Weise mittels der die Spulenbleche mit den Statorblechen verbindenden Schrauben ihren Halt finden.

Der *Anwerfer* besteht nur aus einem aus der Rückwand vorstehenden Knopf, der bei Rechtsdrehung den Rotor in eine über-synchrone Drehzahl bringt. Der Rotor hat 30 Zähne und somit eine Drehzahl von 200/min.

Siemens-Synchronuhren

Die Uhr mit *Anwerfmotor* der Firma *Siemens & Halske A. - G.* in Berlin zeigt bemerkenswerte Abweichungen von der allgemeinen Anordnung; sie ist in *Abbildung 40* dargestellt. Es handelt sich um ein

Werk mit nur einer Platine; sämtliche Räder sind auf Anrichtstiften angeordnet und durch Vorreiber gehalten.

Die aus Aluminium hergestellte Schwungscheibe ist wesentlich größer als der Rotor; sie legt sich an einen Ansatz des Rotortriebes; vorne ist eine Filzscheibe vorgelegt, die durch einen Vorreiber gehalten wird. Wie bei der Uhr von Kienzle, ist auch hier die Drehbewegung der Scheibe durch Loch und Stift begrenzt.

Die Statorbleche sind mit der Platine und den Pfeilern vernietet; ebenso sind auch die Spulenbleche mit den Statorblechen durch Hohlniete verbunden, so daß die Spule nicht ohne weiteres herausnehmbar ist.

Die Anwerfvorrichtung spannt bei ihrer Betätigung eine Feder, deren umgebogenes Ende in die Rotorzähne greift und den Rotor beim Zurückschnellen in Drehung versetzt.

Die Spule ist mit Lötösen versehen, so daß der Anschluß durch Verlöten der Anschlußleitungen erfolgt.

Der Zeigerstellknopf steht unter Federdruck; man muß ihn nach vorn drücken, wenn die Uhr eingestellt werden soll. Der Rotor hat 30 Zähne und eine Drehzahl von 200/min.

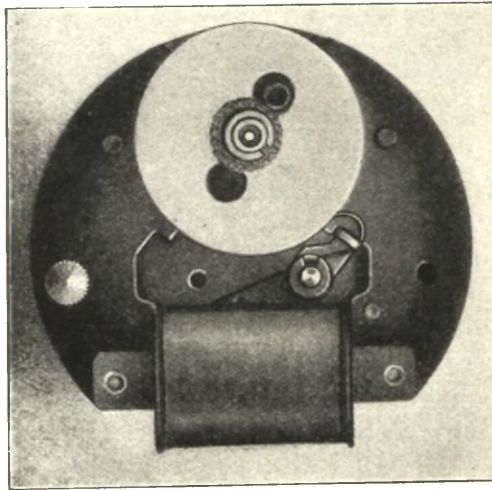


Abb. 40. Siemens-Synchronuhrwerk mit Anwerfmotor, mit fliegender Lagerung in nur einer Platine, Rückansicht

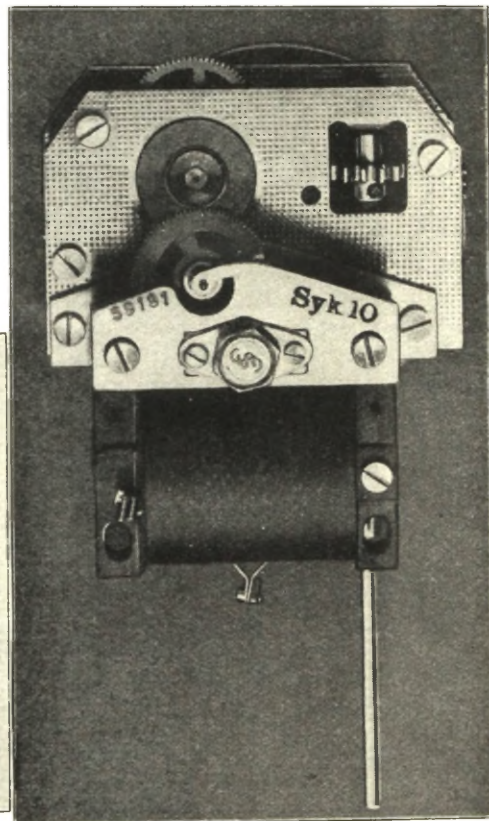


Abb. 41. Siemens-Synchronuhr mit Selbstanläufer, Rückansicht

Die Siemens-Uhren mit Anwerfmotor sind mit Sekundenzeiger versehen; sie werden für Zifferblattdurchmesser von 8,5 bis 40 cm geliefert.

Das Werk von Siemens & Halske mit Selbstanläufer zeigt die Abbildung 41; es ist für größere Uhren bis zu 80 cm Zifferblattdurchmesser vorgesehen. Bis zu 40 cm Zifferblattdurchmesser erhalten die Innenuhren eine Fallscheibe, während größere Innenuhren und alle Uhren für das Freie ohne Fallscheibe geliefert werden.

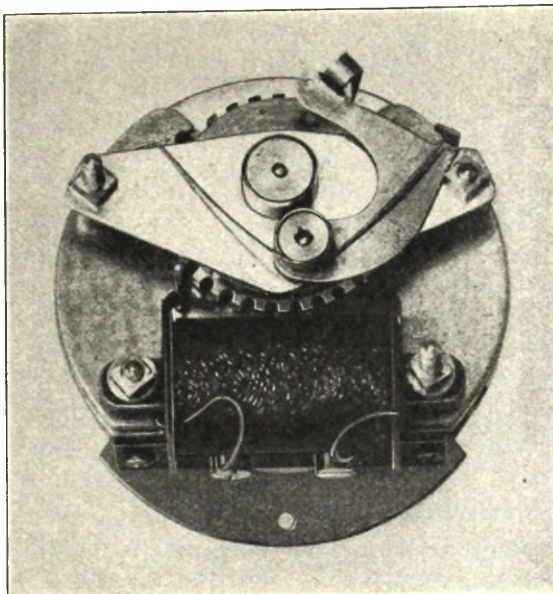


Abb. 42. Speck-Synchronuhr

In das Trieb der vierten Übersetzung vom Motor aus greift ein Rad ein, das durch eine stabile Reibungskupplung mit den Zeigerstellrädern im Eingriff steht. Von diesen beiden Rädern ab ist das Werk außerordentlich kräftig gebaut, so daß es schwere Zeiger tragen kann.

Die Zeigereinstellung erfolgt durch eine nach unten geführte starke Stellstange über einen nicht ausrückbaren Winkeleingriff.

Der Motor hat eine Drehzahl von 500 Umdrehungen/min; infolge der hohen Übersetzung besteht an der Zeigerachse eine große Kraft.

Speck-Synchronuhren

Die Uhr mit Anwerfmotor der Firma Emil Speck in Schwenningen (vgl. Abb. 42) zeigt in Aufbau, Größe und Ansicht keine Abweichungen von den normalen runden Werken. Konstruktiv bemerkenswert ist der aus drei Scheiben bestehende Rotor. Wie in der Uhrenindustrie vielfach üblich, sind die beiden Anschlußschrauben auf einem Bakelitstreifen befestigt, der an den beiden unteren Werkpfeilern verschraubt ist.

Die Schwungscheibe ist recht schwer, so daß die Uhr leicht anzuwerfen ist. Der Rotor ist mit zwei Zapfen versehen, deren Lagerung von besonderer Art ist. Das Vorderlager besteht aus Messing mit eingonieteter Stahldeckplatte, das Hinterlager dagegen ist aus einer unteren

Novotext-Scheibe und einem oberen Messinglager zusammengesetzt. Zwischen ihnen liegt eine Fettkammer, die seitlich angebohrt und mit einem Sprengring verschlossen ist. Der hintere lange Zapfen ist durch eine Bohrung beider Lager geführt; sein flacher Ansatz läuft an der Novotext-Scheibe. Der Rotor hat 30 Zähne und eine Drehzahl von 200 Umdrehungen/min.

Synchronuhren von Telephonbau und Normalzeit

Das Werk mit Anwerfmotor der Telephonbau und Normalzeit Lechner & Co. in Frankfurt a. M. ist in Abbildung 43a von der Rückseite und in Abbildung 43b von vorne gezeigt. Bemerkenswert ist der Flachbahn-Anwerfer, der nach der Seite herausgezogen wird und dabei mit einem umgebogenen Lappen in die Rotorzähne eingreift.

Die schöne und große Spule trägt rechts und links je einen angepreßten Lappen, in dem die Anschlußschrauben, vor Berührung ge-

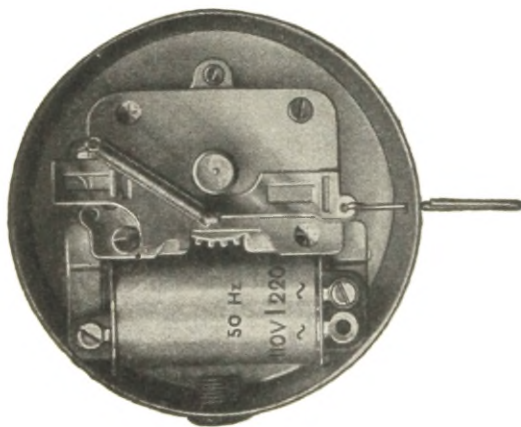


Abb. 43a. Synchronuhr mit Anwerfmotor von Telephonbau und Normalzeit, Rückseite

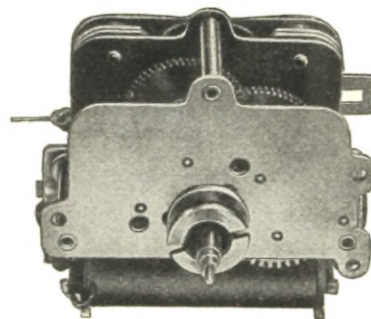


Abb. 43b. Synchronuhr wie Abb. 43a, Vorderseite

schützt, untergebracht sind. Da die Spule für 110/220 Volt gewickelt ist, so faßt der rechte Lappen zwei Anschlüsse, und zwar gilt der obere für 220 und der untere für 110 Volt.

Das Werk hat drei Platinen; an die hinterste sind die Jochbleche genietet. Zwei diagonal zueinander liegende Nieten sind durchbohrt; durch sie werden die beiden Befestigungsschrauben geführt. Die anderen zwei Nieten sind unten als kurze Zapfen ausgebildet und legen in zwei Löchern der mittleren Platine die Stellung beider Platinen zueinander fest. In der Mitte der hinteren Platine ist ein Futter für den Rotor-Lagerstift eingesetzt; unterhalb der zweiten Platine ist eine

Brücke mit einer über ihr liegenden schwachen Flachfeder verschraubt, auf welcher der untere Ansatz des Rotortriebes umläuft.

Die Schwingungsscheibe wird gehalten durch eine über einen dünnen Ansatz des Rotortriebes geschobene Galalithbuchse; zwischen Rotorscheibe und Rotor ist eine Novotext-Scheibe gelegt. Das Werk wird entweder mit Sekundenzeiger oder mit einer schwarzen, mit weißem Querstrich versehenen, auf der Sekundenwelle sitzenden kleinen Sichtscheibe geliefert. Der Rotor hat

36 Zähne und dementsprechend eine Drehzahl von $166\frac{2}{3}$ Umdr./min.

Ein zweites Werk der gleichen Firma mit Selbstanläufer ist für Zifferblattdurchmesser bis zu 100 cm bestimmt; die Abbildung 44 gibt eine Seitenansicht des Werkes. Das Werk wird durch einen AEG-Motor angetrieben, der auf einer besonderen, an der Hinterplatine verschraubten, gekröpften Grundplatte sitzt, die zugleich (auf dem Bilde nicht sichtbar) eine aus Bakelit hergestellte Lüsterklemme für den Anschluß trägt. In das Laufwerk sind zwei Schneckengetriebe eingeschaltet, wodurch die Räderzahl wesentlich verkleinert ist. Zur mechanischen Fortstellung der Zeiger ist auf der Minutenwelle ein Sperrrad mit 60 Zähnen befestigt, in welche die Nase einer nach oben federnden Zugstange eingreift und die Uhr bei jedem Zug nach unten um eine Minute fortstellt. Das Werk ist sehr kräftig gebaut. Der Läufer des selbstanlaufenden Motors hat eine Drehzahl von 375 Umdrehungen/min.

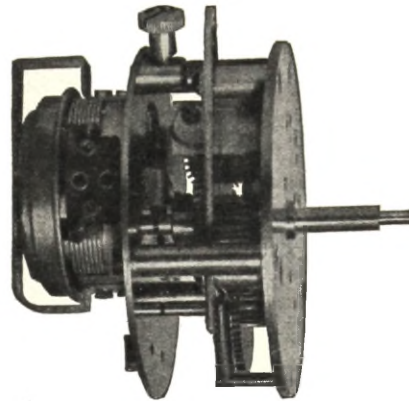


Abb. 44. Großes Synchronuhrwerk mit Selbstanläufer von Telephonbau und Normalzeit

b) Synchron-Schlagwerkuhren

Mauthe-Synchronuhr mit Schlagwerk

Synchron-Schlagwerkuhren sind bisher sehr wenig bekannt geworden. Die erste in Deutschland zum Verkauf gestellte ist die der Firma **F r. M a u t h e G. m. b. H.** in Schwenningen. Die Firma baute anfangs ein Werk für Bimbam- und eins für Westminsterschlag, indem sie ihre wenig veränderten mechanischen Werke benutzte, die Zugfedern des Schlagwerks mit Reibungskupplung versah und auf die Federwellenräder ein auf der Minutenwelle angebrachtes Aufzugtrieb eingreifen ließ, so daß die Feder vom Synchronmotor nachgespannt wurde; zum Antrieb wurde ein Anwerfmotor verwendet, dessen Rotor in einer Ölkapsel lief. Eine oberhalb des Zeigermittelpunktes umlaufende Sichtscheibe zeigte etwaige Stromunterbrechungen an. Die Abbildung 45 zeigt das Westminsterwerk dieser jetzt nicht mehr hergestellten Uhr.

Das neue Schlagwerk der Firma wird ebenfalls für Bimbam- und für Westminsterschlag gebaut; es wird rein elektrisch von dem Synchronmotor aus angetrieben, die Zugfedern sind in Fortfall gekommen. Die Abbildung 46 zeigt die Uhr mit Bimbamschlagwerk. Der Motor ist wesentlich kräftiger ausgeführt als der von der Firma für ihre Gehwerke und Wecker benutzte; sein Drehmoment ist ungefähr doppelt so groß und dementsprechend auch der Wattverbrauch.

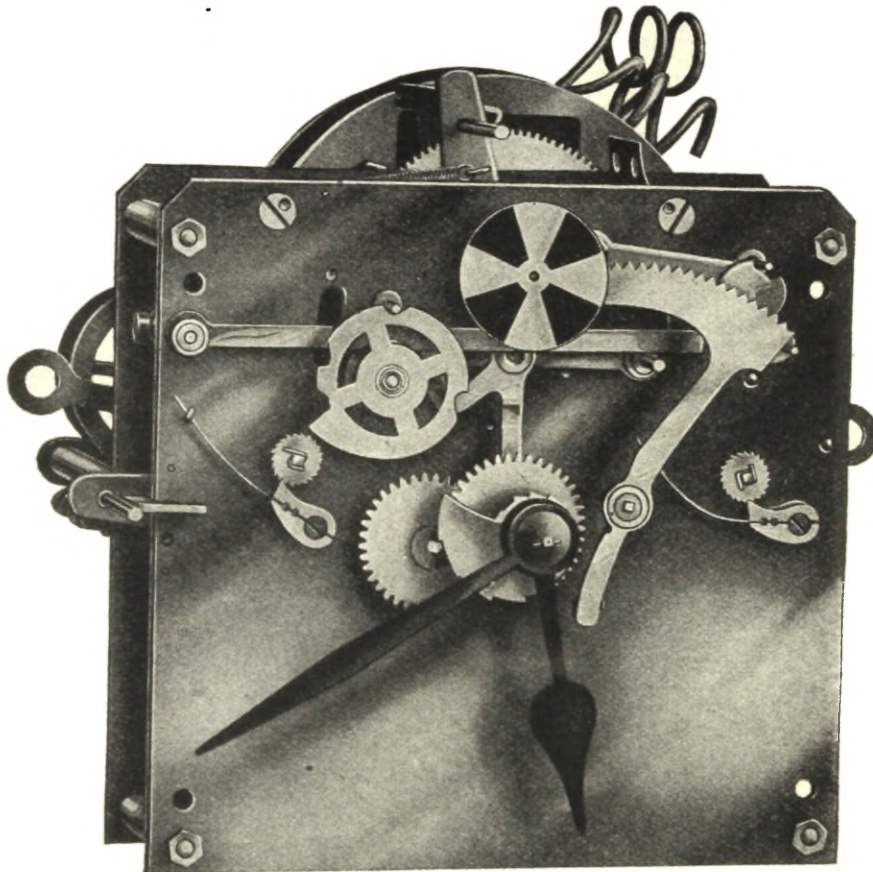
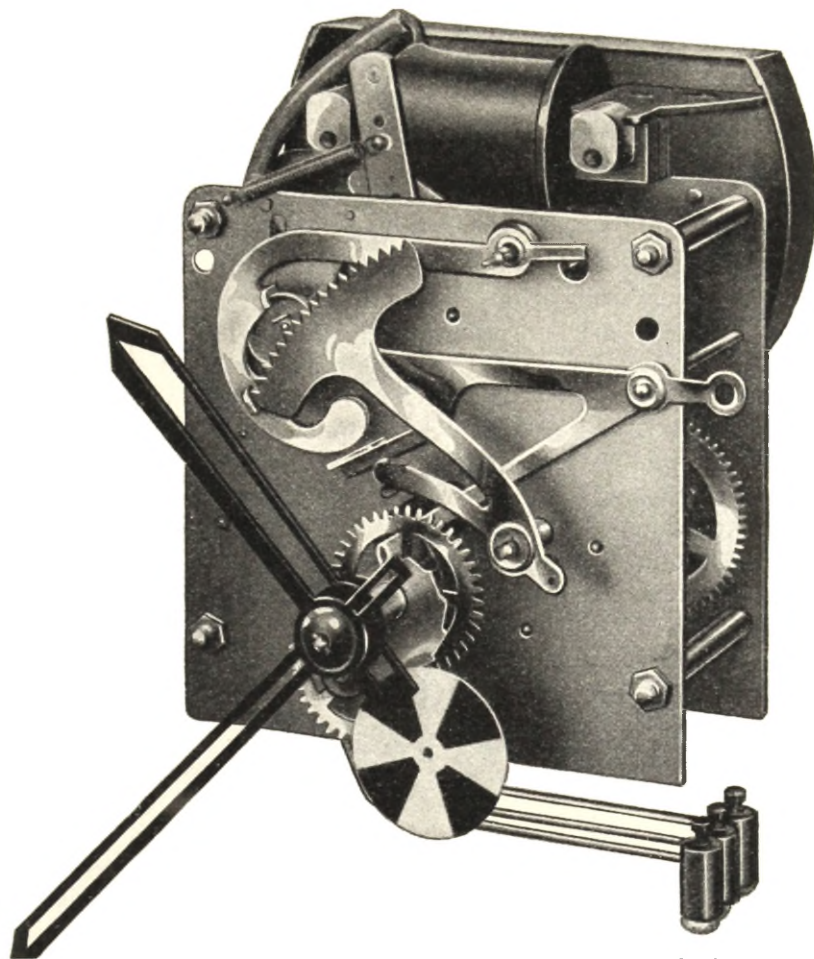


Abb. 45. Mauthe-Synchron-Schlagwerksuhr mit Westminsterschlag (ältere Bauart)

Der Rotor hat 36 Zähne und eine Drehzahl von $166\frac{2}{3}$ Umdrehungen/min. In dessen sehr feines Trieb mit 26 Zähnen greift ein aus Novotext hergestelltes Doppelrad von großem Durchmesser, dessen beide Räder durch eine Kupplungsfeder und eine aus einem Stift und einem größeren Loch bestehende Festhaltung zueinander in leichter radialer Spannung stehen. Hierdurch wird erreicht, daß der erste Eingriff ohne leere Zahnluft läuft, wodurch Geräusche vermieden werden.

Der Rotor läuft in Novotext-Buchsen; das hohle Oberlager enthält ein ebenfalls aus Novotext hergestelltes Deckplättchen, das durch



**Abb. 46. Mauthe-Synchron-Schlagwerksuhr mit Bimham-Schlag
(neue Bauart)**

eine Spiralfeder und eine Deckschraube in eine bestimmte Lage gebracht werden kann und dadurch die Rotorhöhenluft sanft ausschaltet. Zwecks weiterer Geräuschverminderung sind die vier Füße des Werkes in praktischer Weise mit Weichgummi umkleidet. Der Motor ist an der oberen Außenseite der Hinterplatine verschraubt.

An der Vorderplatine oben ist ein sehr kräftiger, durch eine Schnur zu betätigender **Anwerfer** angebracht, dessen federnder Hebel in ein zum Motor ziemlich hoch übersetztes Anwerfrad eingreift und ein sicheres Anwerfen des Rotors gewährleistet. Unterhalb der Zeigerwelle läuft eine **Sichtscheibe** um.

Die **Spule** ist für 110/220 Volt gewickelt und mittels Laschen umschaltbar.

Das Rechenschlagwerk ist mit der für mechanische Uhren der Firma üblichen K a d r a t u r versehen, im übrigen ist es sehr einfach und übersichtlich gehalten. Ein W i n d f l ü g e l ist bei elektrisch angetriebenen Schlagwerkuhren e n t b e h r l i c h, weil ja die Schlaggeschwindigkeit von der Übersetzung zwischen Hebnägelrad und Motor abhängt und eine sonst unerreichte Regelmäßigkeit der Schläge durch die Motorsteuerung gegeben ist.

Die S c h l a g w e r k s r ä d e r bestehen aus nur einem Kupplungsrad, einem Übersetzungs-Doppelrad auf gleicher Welle und dem Hebnägelrad, in dessen dreiteiligen Stern die beiden Hebel der drei Hämmer in bekannter Weise einfallen. Das Kupplungsrad dreht sich auf einem, durch ein leichtes Übergewicht nach dem Gehwerks-Anwerfrad neigenden Hebel, dessen oberer Arm bei gekuppeltem Schlagwerk auf einem in der Vorderplatine befestigten Stift aufliegt und so den Eingriff zwischen Kupplungsrad und Anwerfrad reguliert. Der erwähnte Kupplungshebel trägt einen Anlaufstift, der ihn im Anlaufstadium der Uhr festhält und dadurch eine vorzeitige Kupplung des Schlagwerkes mit dem Gehwerk verhindert. Die verlängerte Welle der beiden Übersetzungsräder trägt den Schöpfer und innerhalb der Platinen ein kleines Gewicht, das auf der Welle derartig befestigt ist, daß es den Schöpferstift im Ruhezustande aus dem Bereich der Rechenzähne hält und die Einfallnase des Schöpfers an die entsprechende Nase des Einfallhebels legt.

Erfolgt, entweder in bekannter Weise durch das Gehwerk oder mittels einer Schnur von Hand, eine A u s l ö s u n g d e s S c h l a g w e r k e s, so wird der Rechen-Einfallhebel gehoben; der Rechen fällt ab, und das Kupplungsrad wird durch den Auslösehebel, der auf den im Kupplungshebel angebrachten Anlaufstift einwirkt, ein wenig zurückgedrängt. Fällt dann der Auslösehebel zurück, so kann der Kupplungshebel infolge seiner leichten Fallkraft nach rechts fallen; das mit dem oberen Übersetzungsrad stets in Eingriff stehende Kupplungsrad muß der Rechtsbewegung folgen, und seine Zähne legen sich nun auch noch in die Zähne des Gehwerk-Anwerfrades. Somit werden die Schlagwerkkräder mitgenommen, die Uhr schlägt.

Tritt der Rechen-Einfallhebel nach dem letzten Schlage in seine Ruhestellung zurück, so drückt damit ein an ihm angebrachter Stift den Kupplungshebel nach links, wodurch das Kupplungsrad außer Eingriff mit dem Anlaufrad kommt. Nach dieser E n t k u p p l u n g geht dann das Gehwerk getrennt vom Schlagwerk allein weiter.

An Hand eines Werkes wird die vorstehende Beschreibung den Leser sehr leicht in die überaus einfache Konstruktion des Werkes einführen können.

Das größere Werk mit Westminstererschlag ist mit dem gleichen Motor und grundsätzlich der gleichen Schlagwerkseinrichtung versehen.

Junghans-Synchronuhren mit Schlagwerk

Außer der Firma Mauthe liefert nur noch die Firma **G e b r ü d e r Junghans A. - G.** in Schramberg eine Uhr mit Bimbamschlag. Der Anwerfmotor dieser Uhr ist der gleiche, wie ihn die Firma für ihr Gehwerk verwendet (Abb. 30 und 31). Das Prinzip der Uhr ist folgendes:

Die **Schlagwerkseinrichtung** besteht aus wenigen Rädern (ohne Windflügel) für drei Hämmer und der Auslöse- und Kupplungseinrichtung. Über ein vielfaches Hebelsystem wird in bekannter Weise halbstündlich ein Rechen ausgelöst und gleichzeitig das Schlagwerk an das (vom Motor aus gesehen) dritte Rad des Gehwerks gekuppelt. Die Uhr schlägt dann mittels Motorkraft; es ist also zwischen Geh- und Schlagwerk keine Feder als Antriebskraft des Schlagwerkes eingeschaltet. Mit dem Einschnappen des Rechenhebels in seine Ruhestellung wird dann zugleich die Kupplung zwischen Geh- und Schlagwerk aufgehoben, so daß erst eine erneute Auslösung des Rechens von der Minutenwelle aus oder durch Zug an dem Auslösehebel die Uhr wieder zum Schlagen bringt.

Die Abbildung 47 gibt ein Bild der Uhr in Vorderansicht, Abbildung 48 in Seitenansicht und Abbildung 49 in Rückansicht.

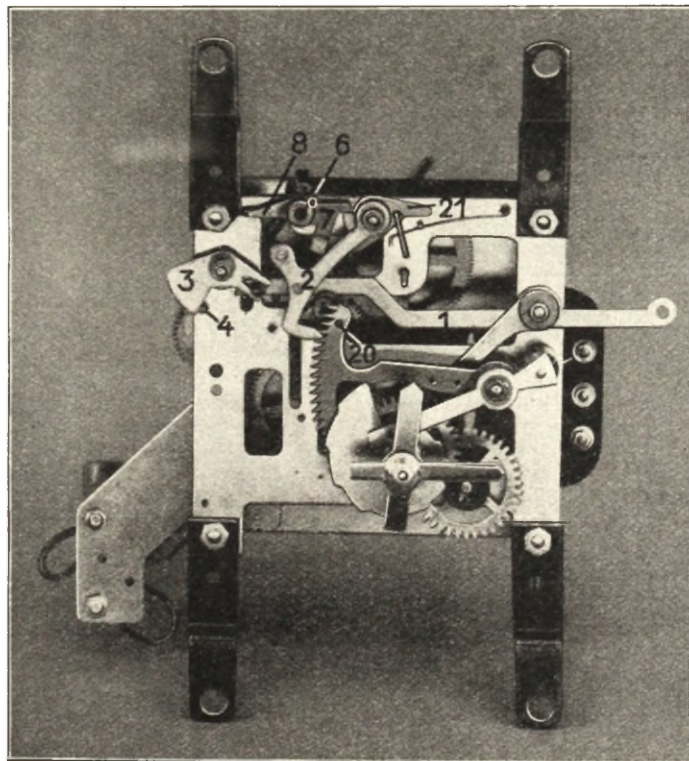


Abb. 47. Junghans-Schlagwerks-Synchronuhr, Vorderansicht

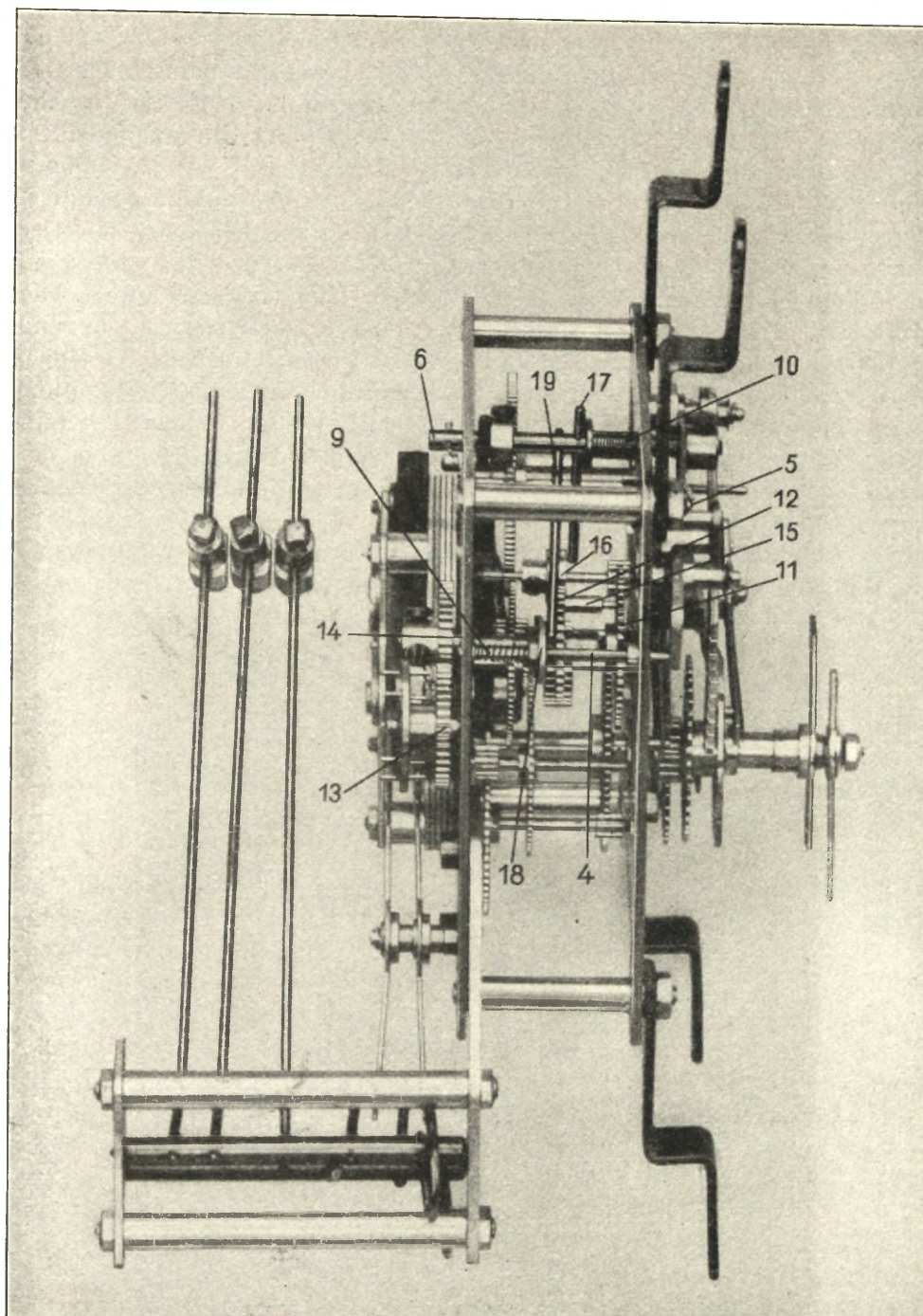


Abb. 48. Junghans-Schlagwerksuhr, Seitenansicht (zur besseren Erkennung der Einzelheiten in größerem Maßstab als Abb. 47 und 49)

Das Zusammenarbeiten der Kupplungs- und Entkupplungsglieder wird dem Fachmanne nicht auf den ersten Blick klar, man muß es gründlich studieren. Der Auslösehebel 1 (vgl. Abb. 47) wird durch das Minutenrohr halbstündlich gehoben. Dieser hebt zugleich den Rechen-Einfallhebel 2 an, so daß der Rechen abfällt. Gleichzeitig wird der breite untere Arm des Hebels 3 mittels einer Gabelführung nach rechts herumgedreht, der im Ruhezustande die vorstehende

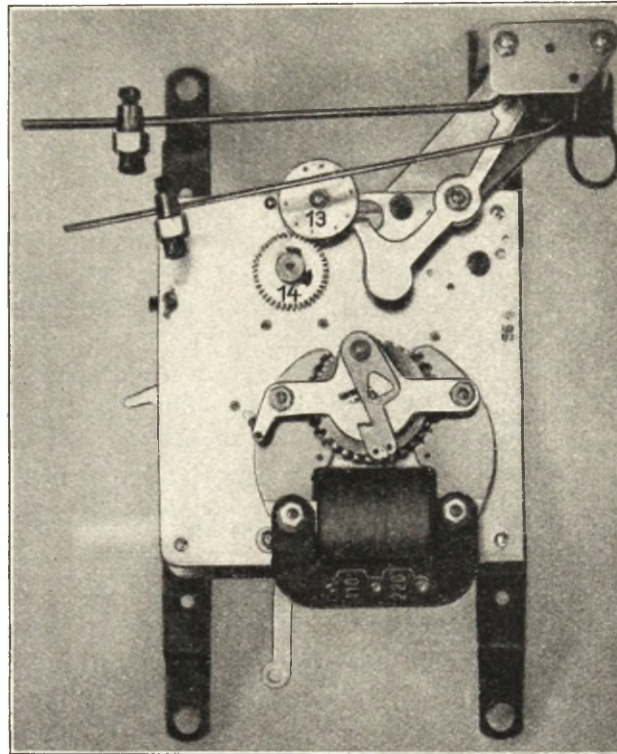


Abb. 49. Junghans-Schlagwerksuhr, Rückansicht

Welle 4 freigibt, sie aber im gehobenen Zustande mittels einer an der hinteren rechten Seite angebrachten schiefen Ebene zurückdrängt. Ferner drückt ein an dem oberen Arm des Auslösehebels 1 angebrachter konischer Stift 5 (in der Abbildung 47 nicht erkennbar) den auf der Welle 6 befestigten Arm 7 nach vorne. Dieser Arm 7 kann seitlich nicht ausweichen, weil seine linksseitige Fortsetzung 8 nach hinten umgebogen ist und in einem Platinenschlitz nur vor- und rückwärts beweglich ist. Die Welle 4 wird durch eine schwache Feder 9 (vgl. Abb. 48) in der Richtung nach vorne, die Welle 6 durch eine stärkere Feder 10 in der Richtung nach hinten gedrückt. Die einzige zwischen den Platinen

laufende Triebwelle des Schlagwerkes trägt das feste Rad 11 (Abb. 48), das in der Achsenrichtung bewegliche Kupplungsrad 12 und außerhalb der Hinterplatine das in das Hebnägelrad 13 eingreifende Rad 14. Das Kupplungsrad 12 trägt einen Kupplungsstift 15, der bei eingerücktem Schlagwerk in einen von fünf Schlitten des festen Rades 11 einschnappt. Das feste Rad 11 steht im Eingriff mit einem Trieb, auf dessen Welle eine Einfallscheibe 16 sitzt. In den Schlitz dieser Scheibe ist bei Auskupplung des Schlagwerkes der in die Welle 6 eingebaute Arm 17 eingefallen. In die nach hinten verlängerte Nabe des Kupplungsrades 12 ist eine Rille eingedreht, in die ein gabelförmiger Arm 18 der Welle 4 eingreift, so daß durch eine kleine Verschiebung der Welle 4 in ihrer Achsenrichtung nach hinten der Kupplungsstift 15 nicht in die Schlitten des festen Rades 11 einschnappen kann. Ein in die Welle 6 eingebaute zweiter Arm 19 verhindert außerdem dieses Einschnappen, wenn die Welle 6 sich in ihrer Ruhelage befindet und wenn sie nicht durch den konischen Stift 5 nach vorne gedrückt werden kann. Mittels des Stiftes 20 (vgl. Abb. 47) hebt der in Ruhestellung stehende Rechen den rechten Arm der Sperrklinke 21 etwas an, wodurch deren linksseitige Nase die rechtsseitige Nase des Armes 7 freigibt.

Durch das halbstündliche oder von Hand erfolgte Anheben des Auslösehebels 1 entstehen folgende Änderungen in der Stellung der Kupplungsteile zueinander:

1) Die Welle 6 wird nach vorne gedrückt, so daß der Arm 16 den Arm 18 freigibt, und der Arm 17 tritt aus dem Schlitz der Einfallscheibe 16 heraus.

2) Der Hebel 3 dreht sich und verhindert dadurch, daß die Welle 4 nach vorne gleitet und der Kupplungsstift 15 in einen Schlitz des Rades 11 einschnappen kann.

3) Der Rechen fällt ab, sein Stift 20 gibt die Sperrklinke 21 frei; ihr rechter Arm fällt auf den Stift 22 auf, ihre linke Nase hebt sich etwas.

Diese Vorbereitungsstellung der Teile geht in das Kupplungsstadium über, sobald der Auslösearm 1 zur vollendeten halben oder vollen Stunde abfällt oder die an dem Hebel verknötete Schnur losgelassen wird. Mit dem Abfall ändert sich folgendes:

4) Die Welle 6 springt etwas zurück, wodurch sich die Nase des Armes 7 auf die Nase der Klinke 21 legt und der Arm 16 den Arm 18 auch weiter freigibt.

5) Der untere Arm des Hebels 3 dreht sich in die Ruhestellung zurück und gibt dadurch die Welle 4 frei. Sie springt nach vorne; ihr Arm 18 nimmt das Kupplungsrad 12 und dessen Stift 15 mit, der sich gegen das feste Rad 11 legt.

6) Das ständig vom Gehwerk angetriebene Kupplungsrad 12 dreht sich, so daß nach wenigen Augenblicken der Stift 15 in einen der Schlitten

des festen Rades 11 einschnappt. Die dadurch mit dem Gehwerk gekuppelten Schlagwerksräder drehen sich; die Hebnägel heben die drei Hämmer, die Uhr schlägt, und zwar entsprechend der gesteuerten Motor-drehung mit großer Regelmäßigkeit.

7) Bei Beginn des letzten Hammerhubes, wenn der Schöpferstift anfängt, den letzten Rechenzahn zu heben, drückt der Stift 22 den rechten Arm der Klinke 21 nach oben, wodurch die Nase des Armes 7 freigegeben wird und der Arm 17 sich an die Einfallscheibe 16 legt.

8) Nach vollendetem letzten Schlag, also nach Abfall des letzten Hammers, steht der Arm 17 dicht vor dem Schlitz der Scheibe 16. Nach wenigen Motorumdrehungen wird daher der Arm 17 in diesen Schlitz einfallen. Dadurch drückt der Arm 16 den Arm 18 nach hinten. Dieser nimmt das Kupplungsrad 15 mit, wodurch die Entkupplung des Schlagwerkes erfolgt ist; die Uhr läuft bis zur nächsten Auslösung als Gehwerk weiter.

Die beschriebene Konstruktion arbeitet sicher, wenn sie auch nicht sehr einfach ist.

Der Motor dieser Schlagwerkuhr wird mittels einer roten Schnur angeworfen, die in den Anwerfarm eingehängt ist. Die Spule ist für 110 und 220 Volt gewickelt, so daß drei Anschlußklemmen vorgesehen sind. Eine oberhalb der Minutenwelle umlaufende Sicht-scheibe zeigt etwaige Stromunterbrechungen an.

c) Synchronuhren mit Weckvorrichtung

Allgemeines über selbsttätige elektrische Wecker

Die ersten Synchronwecker waren mit einem besonderen S u m m e r - E l e k t r o m a g n e t e n versehen. Dieser wird jetzt allgemein dadurch entbehrlich, daß zu den Statorblechen des Synchronmotors ein m a g n e t i s c h e r N e b e n s c h l u ß mit Blattfeder als Summeranker gelegt wird, der mechanisch ent- und gesperrt wird. Weil eine elektrisch betriebene Weckvorrichtung nicht wie eine durch Federkraft betätigte auf eine kurze Weckzeit abgestimmt werden kann, muß eine besondere, von dem Geweckten zu bedienende A b s t e l l v o r r i c h t u n g zur Anwendung kommen.

In Anwendung eines vierundzwanzigstündigen Weckerblattes hat man weiter die Möglichkeit des vollkommen selbsttätigen täglichen Weckens geschaffen. Die Uhr weckt täglich morgens zur gleichen Zeit, ohne das Wecken nach zwölf Stunden zu wiederholen; der Abstellhebel entsperrt sich selbsttätig, so daß die Uhr wieder weckbereit wird, und ein besonderer Hebel ermöglicht eine D a u e r - a b s t e l l u n g. Auf dem Weckerblatt sind die Nachtstunden durch einen schwarzen Halbkreis gekennzeichnet, oder es zeigt auch eine besondere Vierundzwanzigstundenscheibe in einem Ausschnitt des Zifferblattes die Uhrzeit nach vierundzwanzigstündigen Angaben an. Es

werden jedoch auch Synchronwecker mit zwölfstündigem Weckerblatt und normaler Weckereinstellung geliefert.

Der Vorteil der vierundzwanzigstündigen Teilung besteht bei regelmäßig gleichbleibender Weckzeit in dem Fortfall der abendlichen Bedienung. Ihre Nachteile sind: Bei kleinem Weckerblatt weniger genaue Einstellungsmöglichkeit des Weckerzeigers, Notwendigkeit der Beachtung der Tag- und Nachtzeiten bei jeder Einstellung der Uhr, erhöhter Herstellungspreis, der bei nur zeitweiser oder unregelmäßiger Verwendung der Weckvorrichtung nutzlos bleibt, außergewöhnliche, leicht übersehene Bedienung an Abenden vor Sonn- und Feiertagen, wenn morgens nicht geweckt werden soll.

Dagegen bestehen die Vorteile der zwölfstündigen Teilung in der Beibehaltung der üblichen, gewohnten Bedienungshandgriffe und in einem geringeren Preis, der Nachteil in der Verzichtleistung auf das selbsttätige tägliche Wecken zu gleicher Stunde.

Ein elektrischer Summer ist nicht immer geeignet, einen im festen Schlaf liegenden Menschen mit Sicherheit zu wecken; dafür ist das Geräusch zu leise, auch wenn es ein dauerndes ist.

Heliowatt-Synchronwecker

Der Synchronwecker der Heliowattwerke in Berlin-Charlottenburg ist mit einem Weckerblatt von vierundzwanzigstündiger Teilung versehen. Ein an der Rückwand befestigter Hebel dient als Dauerabsteller, ein aus einem Rückwandschlitz hervorstehender Hebel ermöglicht das Abstellen des Summers nach dem Erwachen. Das Gehwerk ist das übliche kleine Werk der Firma mit Anwerfmotor und Anwerfknopf (vgl. Abb. 27).

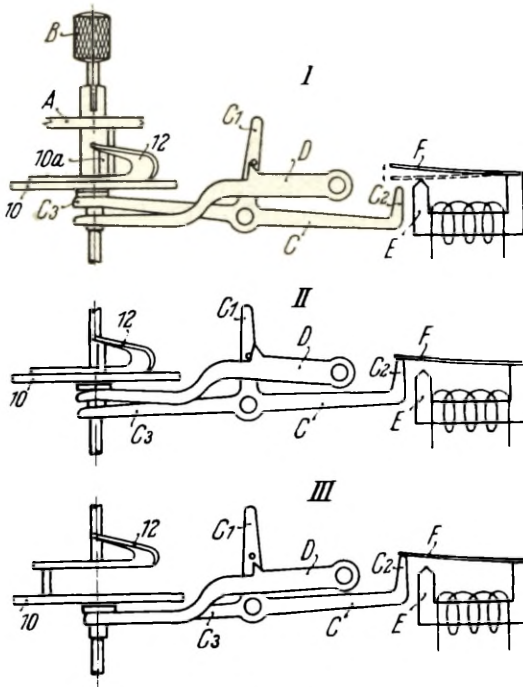


Abb. 50.
Weckeinrichtung des Heliowatt-Synchronweckers

In das Zeigerstelltrieb greift ein sich in vierundzwanzig Stunden einmal drehendes, auf der Weckerstellwelle lose sitzendes Rad ein, das mit einem langen Einstellstift auf eine Weckerschnecke drückt. Der Druck entsteht durch die im ausgeschalteten Zustande gespannte breite und aus Stahlblech bestehende Summerfeder,

deren Spannkraft durch einen dreiarmligen Hebel übertragen wird. Ein zweiter einarmiger Hebel übernimmt die Sperrung des Tages-Abstellhebels.

Diese Einrichtung ist in Abbildung 50 dargestellt. Die Zeichnung I veranschaulicht die Weckstellung. Die Summerfeder F ist freigegeben; sie schwingt im Rhythmus der Wechselstromstöße auf und ab, weil der Stift $10a$ des Weckerrades von der Schnecke 12 ab- und hochgeschneilt ist und dadurch der Arm C_2 des Hebels C nach unten ging.

Dreht sich dann das Weckerrad 10 mit der Uhr herum, so wird es durch die Schnecke allmählich wieder nach unten gedrückt, wie es die Zeichnung II zeigt. Wird während des Weckens der Arm C_1 nach links geschoben, so gleitet dessen Stift über die Nase des Hebels D hinweg (vgl. Zeichnung III); dieser unter Federdruck stehende Hebel schnellst etwas hoch und hält damit den Stift hinter der Nase fest, wodurch die Summer-Sperstellung wieder hergestellt ist.

Der Arm C_1 des Abstellhebels kann durch einen zweiten, an die Rückwand genieteten Hebel festgehalten werden, wodurch eine Dauerabstellung entsteht.

Ein zweites Vierundzwanzigstundenrad, dessen dem Zifferblatt zugekehrte Seite mit den Zahlen 1 bis 24 versehen ist, die über einem Zifferblattausschnitt umlaufen und damit die Tag- und Nachtstunden der Uhr besonders angeben, greift ebenfalls wie das Weckerrad in das Zeigerstelltrieb ein.

Synchronwecker von Jauch & Schmid

Der Wecker der Firma J a u c h & S c h m i d G. m. b. H. in Schwenningen ist aufgebaut auf deren Gehwerk mit Anwerfmotor nach Abbildung 29. Dieser Wecker ist mit dem üblichen zwölfstündigen Weckerzifferblatt versehen und daher in seinem Aufbau außerordentlich einfach.

Die beiden oberen, in der Nähe des Rotors befindlichen Werkpfeiler sind aus Eisen hergestellt und dienen als magnetischer Nebenschluß mit dem aus recht starkem Eisen bestehenden Anker als Summer.

Eine an der Vorderplatine angebrachte Hebelanordnung, die federnd auf das Stundenrad drückt, endigt in einem kurzen Arm, der das freie Ende des Summerankers sperrt, wenn das Stundenrad in der bekannten Art durch das Weckerrad nach unten gedrückt wird.

Eine in dem linken hohlen Eisenpfeiler geführte dünne Welle kann mittels eines über der Rückwand angebrachten Stellknopfes von hinten nach vorne verschoben werden; ist diese Welle nach hinten herausgezogen, so befindet sich die Uhr in Weckbereitschaft, während durch das Hineindrücken des Knopfes die Welle eine Stahldrahtfeder ein wenig nach außen drückt und dadurch den Summeranker sperrt.

Die Bedienung dieses Weckers besteht also außer dem Einstellen auf die Weckzeit, das in üblicher Weise durch Drehen eines rechts an

der Rückwand befindlichen Knopfes erfolgt, darin, den Abstellknopf morgens nach dem Wecken hineinzudrücken und ihn abends wieder herauszuziehen.

Mauthe-Synchronwecker

Die Firma Friedrich Mauthe Uhrenfabriken in Schwenningen brachte vor fünf Jahren ihren ersten Synchronwecker mit einem vierundzwanzigstündigen Weckerblatt und mit einem besonderen Summer-Elektromagneten heraus. Das Schaltbild dieser Uhr ist in Abbildung 51 wiedergegeben. Es zeigt, daß Motor und Summerwicklung parallel zueinander geschaltet waren und der Weckerstromkreis durch die beiden Kontaktfedern *FF* über das sich in vierundzwanzig Stunden einmal drehende Weckerrad *KR*

geschlossen wurde. Diese Konstruktion ist durch eine neuere, einfachere ersetzt worden, die es besonders gestattet, das Werk in kleineren Abmessungen zu bauen, was für kleine Stilwecker von besonderer Bedeutung wird. Ausdrücklich soll darauf hingewiesen werden, daß sich durch die Verbindung von zwei Kontakten keinerlei Störungen und Beanstandungen ergeben haben.

Die zweite, neue Konstruktion der Firma Mauthe stellt einen Wecker mit zwölfstündiger

Einstellung und selbsttätiger Ein- und Ausschaltung dar. Das Werk ist in Abbildung 52 in Rückansicht dargestellt. Die Einzelteile sind gedrängt angeordnet, und die Wekeinrichtung ist nicht ganz einfach.

Die Abbildungen 53 und 54 geben eine Teilansicht der Anordnung; sie zeigen,

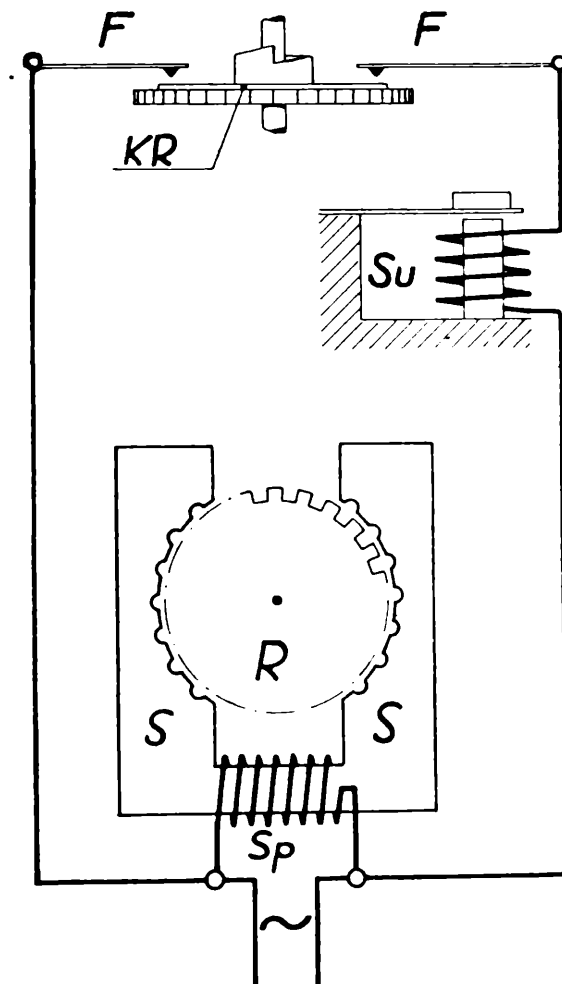


Abb. 51. Schaltung des alten Mauthe-Weckers

daß die beiden Weckerräder *D* und *L* sowie das Stundenrad 9 und ein über ihm gelagertes, mit *L* im Eingriff stehendes Übertragungsrads *K* zwischen der Vorderplatine und einer dritten Deckplatine gelagert sind.

Das Stundenrad treibt das untere Weckerrad *D* an; mittels des auf der Weckerstellwelle befestigten Einstellrades *L* wird das Übertragungsrads *K* eingestellt, auf dessen Rohr der konzentrisch zur Zifferblattmitte angeordnete Weckerzeiger sitzt, so daß ein besonderes Weckerblatt

überflüssig und eine sehr genaue Einstellung der Weckzeiten auf dem großen Stundenzifferblatt ermöglicht wird. Alle vier Räder 9, *D*, *L* und *K* drehen sich in zwölf Stunden einmal herum.

Das untere Weckerrad *D* ist mit einem langen und nach unten konisch verlaufenden Putzen auf der Einstellwelle federnd verstellbar. An diesem Putzen liegt eine in dem Summeranker *S* sitzende, mittels einer Mutter feststellbare Schraube an; die Feder *S* des Ankers übt den erforderlichen Druck für das Anliegen aus. Hat das Stundenrad 9 das untere Weckerrad 9 das untere Weckerrad *D* so weit gedreht, daß die Nase von *L* in den Schlitz von *D* eingeschnappt ist, so gleitet die Schraubenspitze des Summerankers an dem

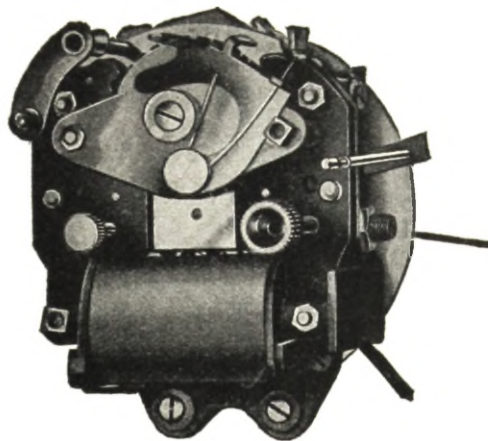


Abb. 52. Neuer Mauthe-Wecker, Rückansicht

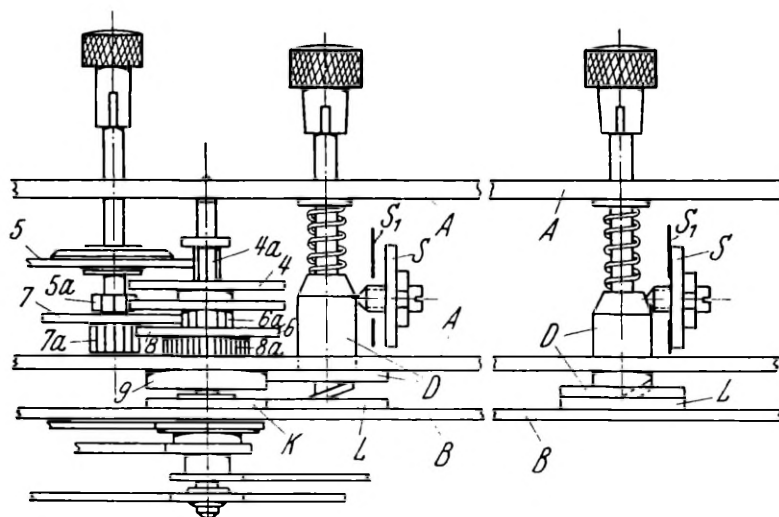


Abb. 53. Wecksperrung (Abb. 53) und Freigabe (Abb. 54) des neuen Mauthe-Weckers

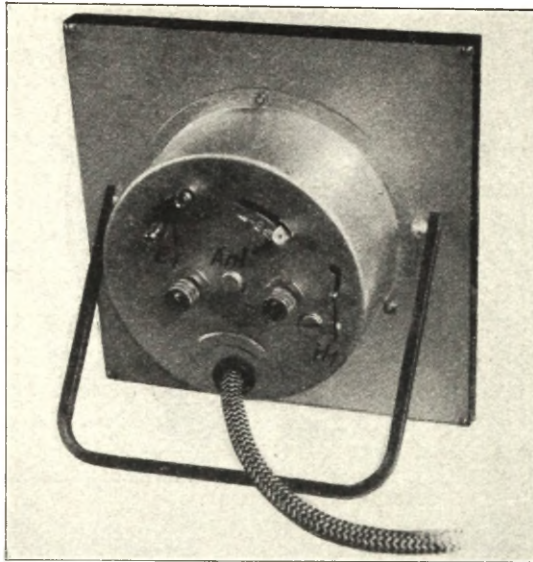


Abb. 55. Rückwand des neuen Mauthe-Weckers

aus der Rückwand vorstehenden Welle links oben angebracht ist. Wird der Hebel nach links gestellt, so erfolgt dadurch Sperrung des Summerankers, daß er von den Magnetpolen abgehoben und in dieser Lage festgehalten wird.

Diese Vorrichtung ist in Abbildung 56 in der Sperrstellung gezeichnet. Auf der Welle *a* ist einmal der genannte Hebel und der Rechen *b* fest sowie der Sperrarm *c* drehbar angebracht. Zwecks Einnahme der Sperrstellung wird der Hebel nach links gedrückt. Dadurch nimmt der im Rechen *b* sitzende Stift *d* den linken Arm des nach rechts federnden dreiarmigen Hebels *e* mit nach unten, so daß sein unterer Arm nach rechts geführt wird, sich gegen den Summeranker *f* legt und diesen von den Polen des magnetischen Nebenschlusses *g* abhebt. Gleichzeitig legt sich der obere Arm von *e* hinter die Nase des Armes *c*, wodurch die Sperrstellung festgelegt ist.

Nun sitzt auf der Welle des Hebels *e* noch ein weiterer zweiarmiger Hebel *i*, dessen linker Arm den Stift *k* und dessen rechter Arm den langen,

Konus des Putzens *D* nach links. Hierdurch wird der Summeranker *S* zum Wecken frei; er vibriert im Takte des Wechselstromes. Die Abbildung 53 zeigt die Sperrstellung, die Abbildung 54 die Entsperrung der Weckeinrichtung.

Der Wecker würde eine runde Stunde ununterbrochen wecken, wenn man den Summeranker nicht nach dem Aufwachen abstellen könnte. Die Abstellvorrichtung wird durch einen Hebel bedient, der nach Abbildung 55 auf einer

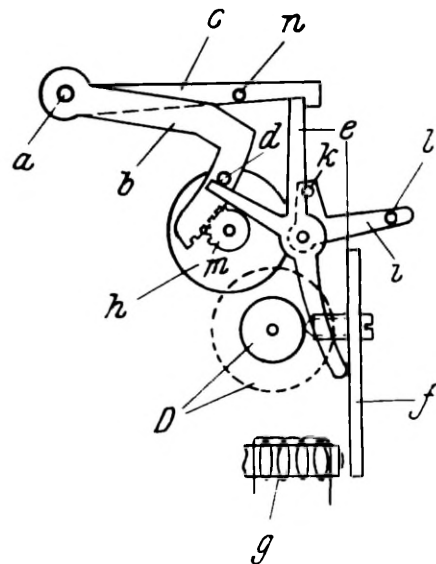


Abb. 56. Summersperrung des neuen Mauthe-Weckers

aus der Rückwand herausragenden Stift *l* trägt. Der Stift *l* läßt sich in einem Schlitz der Rückwand auf- und abschieben und in der oberen Lage *e* in einer Aussparung festsetzen. Läßt man diesen Stift in seiner oberen Stellung stehen, so hält der Stift *k* den Arm *e* in der Sperrstellung dauernd fest, wodurch eine Dauerabstellung geschaffen ist.

Ein zwölfstündiges Weckerrad läßt einen Summerwecker sowohl zu der Tages- wie auch zu der Nachteinstellzeit wecken. Es wird also eine Vorrichtung zur Verriegelung der Wekeinrichtung für die Tageszeiten erforderlich. Zu diesem Zweck ist auf der Stundenwelle ein Rad befestigt, das in das in Abbildung 56 sichtbare Rad *h* eingreift. Auf ihm sitzt, durch eine Feder mit Reibung drehbar, das Trieb *m*, in das die Rechenzähne eingreifen. Drückt man den über der Rückwand angeordneten Abstellhebel nach links, so dreht sich das Trieb links herum, und es tritt die beschriebene Sperrstellung ein.

Die gehende Uhr nimmt dann über das Rad *h* das Trieb in Rechtsdrehung mit, so daß der Rechen dadurch allmählich gehoben wird und er nach rund fünfzehn Stunden mittels des Stiffes *n* die Nase des Armes *c* aus dem Bereich des Armes *e* gebracht hat. Dieser Arm wird frei, und unter dem Druck seiner eigenen Feder und der Feder des Summerankers schnappt er nach links, sofern nicht der Dauerabsteller *i* ihn daran hindert. Die Weckbereitschaft erfolgt also selbsttätig erst nach rund fünfzehn Stunden; nach Verlauf dieser Zeit tritt der Summer in Tätigkeit, sobald der Konus des Rades *D* (Abb. 53, 54, 55) zurückschnellt und dadurch die Summerschraube freigibt.

Diese aufschlußreiche und sehr gut durchgeführte Konstruktion erspart dem Besitzer der Uhr besonders das dem Laien unbequeme, oft auch unverständene Einstellen auf die Nachtzeiten. Wenn nämlich bei dem erstmaligen Einstellen und später nach jedem Stillstehen der Uhr der linke Einstellhebel (Abb. 53) nach rechts gedreht wird, so steht die Weckvorrichtung in Bereitschaftstellung, und die Uhr weckt innerhalb der nächsten zwölf Stunden. Wenn dann nach dem Erwachen der Hebel nach links gedreht werden muß, um den Wecker dadurch abzustellen, so steht er damit selbsttätig für fünfzehn Stunden in Sperrstellung, was sich täglich wiederholt. Somit arbeitet diese Uhr bei Stellung links des Abstellhebels als ein nach vierundzwanzig Stunden und bei Hebelstellung rechts als ein nach zwölf Stunden ansprechender Wecker.

In Abbildung 55 ist der obere mittlere Hebel der Motoranwerfer; der Knopf unten links ist der Zeigerstellknopf, der Knopf unten rechts der Weckerstellknopf und der Stift oben rechts der Dauerabsteller.

Das Gehwerk dieses Weckers ist das von der Firma für alle Synchron-Zimmeruhren angewandte. Die Uhr hat Sekundenzeiger; der Rotor

läuft mit zwei Zapfen in Novotext-Lagern, über denen je ein durch Stellschrauben einstellbares Deckplättchen aus gleichem Werkstoff gelegt ist. Der Rotor ist mit dreißig Zähnen versehen, hat also eine Drehzahl von 200 Umdr./min. Der Anschluß erfolgt mittels zweier kleiner, auf einer Fiberbrücke angebrachten Kopfschrauben.

Siemens-Synchronwecker

Der Synchronwecker der Firma Siemens & Halske A. - G. in Berlin ist eine nach vierundzwanzig oder zwölf Stunden weckende Uhr. Ihr Gehwerk entspricht dem einplatinigen Werk mit Anwerfmotor nach der Abbildung 40, ist aber mit einer besonderen Vorderplatine zur Befestigung der Weckvorrichtung versehen. In Abbildung 57 ist die Seitenansicht, in Abbildung 58 die Rückansicht des Werkes dargestellt.

Auf einem in der Vorderplatine befestigten Anrichtstift läuft ein mit dem Stundenrad im Eingriff stehendes, in zwölf Stunden sich einmal drehendes Weckerrad um, das einen Stift trägt. Die Höhenlage des Rades mit dem Stift ist abhängig von seiner Stellung zu der bekannten Weckerschnecke, die, mit einem Einstellrad auf einem mit einem langen dünnen Rohr versehenen Putzen vernietet, auf dem gleichen Anrichtstift in der Längsrichtung federnd beweglich und auch drehbar ist. In das Einstellrad greift ein zweites, starkes Rad ein, das auf der Weckerstellwelle (oberer Knopf in Abbildung 57) befestigt ist; die Welle trägt außerhalb der Rückwand einen Zeiger, der auf die in zwölf Stunden eingeteilten Striche des auf der Rückwand angebrachten Weckerblattes einstellbar ist.

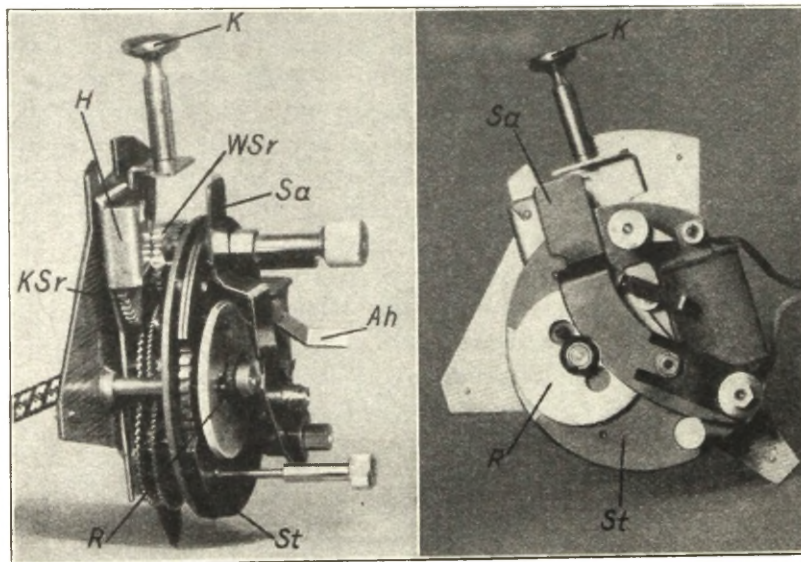


Abb. 57. Seitenansicht des Siemens-Synchronweckers Abb. 58. Rückansicht des Siemens-Synchronweckers

.

In der Abbildung 58 sehen wir, quer über dem Werk verlaufend, einen breiten, bogenförmigen und gekröpften Eisenstreifen *Sa* gelagert, der rechts auf dem Statorblech *St* verschraubt und durch eine kurze Feder abwärts gedrückt sowie links auf dem zweiten Statorblech freiliegend gelagert ist. Dieses Blech stellt einen magnetischen Nebenschluß zu dem Rotor dar und dient als Summeranker; am Ende der kurzen Feder ruht dieser Anker derartig auf einem in der Höhe einstellbaren Messingputzen, daß das freie Ende mit sehr kleinem Abstände von dem Statorblech entfernt ist. Wenn der Stift des Weckerrades nicht in den Schnecken-einschnitt des Einstellrades eingeschnappt ist, so drückt das Rohr dieses Rades auf das freie Ende des Summerankers und hebt ihn von dem Statorblech ab, wodurch Sperrstellung entsteht. Diese einfache Vorrichtung arbeitet also genau so wie diejenige der mechanischen Wecker.

Zur Verhütung der Wiederholung des Weckens nach zwölf Stunden dient eine besonders bemerkenswerte Vorrichtung. Eine recht kompliziert aussehende Abstellschiene *H* mit dem Knopf *K* wird auf bestimmte Weise in das Werk eingeschoben, so daß sie mit ihrem unteren Gabelende an einem ausgestanzten Winkel der Vorderplatte Führung erhält; mit einem zweiten, oberen Längsschlitz ist sie in einer auf der Welle des Weckerrades befestigten kleinen Bronzefeder ebenfalls geführt, so daß die Schiene auf und ab geschoben werden kann. An ihrem oberen Ende ist ein Lappen *H* doppelt rechtwinklig umgebogen; unterhalb des Lappens ist neben dem Längsschlitz einseitig eine Bronzefeder an die Schiene genietet, die am Schlitzrand ein wenig hochgebogen ist. Führt man die Schiene in das Werk ein, so geschieht es mit federnder Reibung in einer Rille der Bronzefeder; zugleich hebt der Lappen *H* das Weckerstellrad hoch, so daß der Stift des Weckerrades nicht einschnappen kann und der Summeranker solange gesperrt ist, wie der Lappen *H* das Weckerstellrad hochhebt. Eine Verriegelung kann die Schiene in dieser ihrer tiefsten Lage festhalten. Soweit dient also die Schiene als Dauerabsteller.

Die eigenartige Reibung, welche die Bronzefeder bei der Drehbewegung der Weckerscheibe auf die Ränder des Schienen-Längsschlitzes und der Bronzefeder ausübt, läßt nun die Schiene sowohl durch das Stellen der Zeiger wie selbstverständlich auch durch das Gehen der Uhr auf- oder abwärts wandern. Durch Rechtsdrehen der Zeiger oder bei gehender Uhr wandert die Schiene aus der Uhr heraus, bis schließlich die Weckerstellscheibe freigegeben und damit die Bronzefeder aus dem Längsschlitz herausgetreten ist, womit die Bewegung aufhört; bei Linksdrehen der Zeiger wandert die Schiene einwärts. In der Zeit von fünfzehn Stunden ist die Schiene aus ihrer tiefsten Stellung bis zur völligen Freigabe des Weckerstellrades nach außen gewandert.

Somit ist die Bedienung der Weckeinrichtung die folgende: Will man innerhalb von zwölf Stunden geweckt sein, so ist die Schiene für diesen

Fall herauszuziehen; will man sich regelmäßig in Zeiträumen von vierundzwanzig Stunden wecken lassen, so muß die Schiene einmalig bis in ihre Endstellung hineingeschoben werden. Das Prinzip dieser Uhr deckt sich vollkommen mit dem des Mauthe-Weckers.

Zusammenfassung

Aus der vorstehenden Besprechung der Fabrikate ergibt sich, daß drei verschiedene Systeme von Synchron-Weckuhren auf dem deutschen Markt vorhanden sind:

1. Uhren für eine Einschaltung über vierundzwanzig Stunden*. Sie sind ohne weiteres jeder Weckzeit angepaßt; aber ihre Zeiger müssen der Tag- und Nachtzeit entsprechend eingestellt werden.
2. Uhren für eine Einstellung über zwölf Stunden. Sie entsprechen den mechanischen Weckern; ihre Weckbereitschaft muß jedoch nach dem Wecken gesperrt und abends wieder hergestellt werden.
3. Uhren für eine Einstellung über zwölf Stunden mit selbsttätiger Abstimmung. Sie wecken nur einmal innerhalb von vierundzwanzig Stunden, sind von Tag- und Nachtzeit unabhängig und können unter Ausschaltung der selbsttätigen Abstimmung im Einzelfall als zwölfstündiger Wecker benutzt werden.

d) Signaluhren

Die für Fabriken und Schulen viel gebrauchten Signaluhren werden von mehreren Firmen auch bereits mit Antrieb durch Synchronmotoren geliefert. Durch diesen Antrieb ändert sich an der üblichen Bauart der Signaleinrichtungen nichts, weshalb sie in diesem Band nicht näher beschrieben sind; es muß diesbezüglich auf den später erscheinenden Band V dieser Buchreihe verwiesen werden. Solche Signaluhren haben wie jede Synchronuhr den Vorzug der sehr genauen Zeitangabe, was ganz besonders für den durch sie vermittelten Beginn und Schluß der Arbeits- und Schulzeiten von Bedeutung ist.

Als Hersteller von Synchron-Signaluhren sind bisher bekannt die Firmen Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, Jauch & Schmid G. m. b. H. in Schwenningen, Siemens & Halske A.-G. in Berlin.

e) Uhren mit Gangreserve

Im Abschnitt 8 ist bereits auf die Bedeutung der Gangreserve für solche Synchronuhren hingewiesen worden, die in nicht verkabelten Netzen laufen oder an schwer zugänglichen Stellen angebracht sind.

* Der Fachausdruck „über vierundzwanzig Stunden“ findet allgemein auf Signaluhren Anwendung; er ist ebenso zweckmäßig für diese Art der Weckuhren angebracht.

AEG-Gangreserve-Synchronuhr (ältere Bauart)

Die älteste Konstruktion einer Gangreserve hat die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin herausgebracht; sie ist in Abbildung 59 dargestellt. Der Motor ist mit einem magnetischen Nebenschluß verbunden, zwischen dessen bogenförmigen Armen ein Schwinganker drehbar gelagert ist. Eine Feder zieht diesen bei Stromunterbrechung aus dem Bereich seines Magnetfeldes heraus, während er angezogen bleibt, solange der Motor unter Strom steht. Der Motor ist ein Selbstanläufer.

Der Schwinganker trägt zwei Stifte, die eine Gabel derartig führen, daß ein mit ihr starr verbundener Umschalthebel ein auf ihm angeordnetes Umschaltrad auf- und abbewegt. Das Trieb dieses Rades bleibt stets mit dem Zeigerwerk der Uhr verbunden. Ist der Schwinganker angezogen (was nur der Fall ist, wenn der Motor läuft), so ist das Zeigerwerk durch das Umschaltrad *a* mit dem Syn-

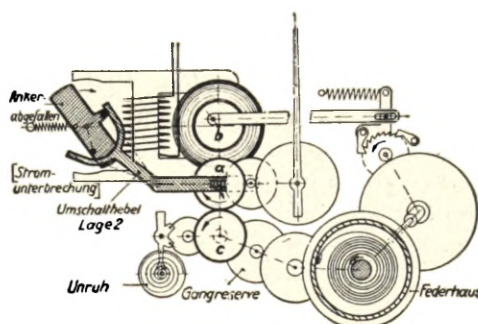


Abb. 59. AEG-Gangreserve-Synchronwerk, schematisch dargestellt (ältere Bauart)

chronuhrwerk *b* gekuppelt; ist der Schwinganker dagegen infolge Stromunterbrechung abgefallen, so steht das Rad *a* mit dem Rade *c* des ständig gehenden Gangreserve-Uhrwerkes in Verbindung. Dieses selbständig gehende Uhrwerk besitzt elektrischen Selbstaufzug.

Die beschriebene Konstruktion der AEG ist nur für Schaltuhren und Außenuhren verwendet worden. Sie ist neuerdings durch ein Werk mit synchronisiertem Unruhgangregler ersetzt, das identisch ist mit dem Werk der im folgenden eingehend beschriebenen Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr.

Mauthe-(AEG-)Gangreserve-Synchronuhr

Seit einiger Zeit baut die Firma Friedrich Mauthe Uhrenfabriken in Schwenningen eine bereits gut eingeführte Synchronuhr mit Gangreserve, deren Konstruktion eine Gemeinschaftsarbeit dieser Firma und der AEG darstellt. Da eine derartige Gangreserve eines selbstanlaufenden Synchronmotors bedarf, so wird der AEG-Langsamläufer nach den Abbildungen 15 und 16 benutzt.

Das Prinzip dieser sehr bemerkenswerten Uhr ist folgendes: Die Verwendung eines besonderen, nicht wie bei der Konstruktion nach Abbildung 59 ständig laufenden Reservewerkes hat den Nachteil, daß das Öl des fast stets stillstehenden Werkes verdickt und daher das Werk nicht anläuft, wenn es ausnahmsweise bei Stromausfällen gebraucht

wird. Daher besteht die Mauthe-Uhr aus nur einem Werk, welches von einigen Übersetzungsrädern des Synchronmotors selbsttätig aufgezogen und dessen Unruh schwingungen zu der Motordrehzahl und damit zu der Frequenz des Wechselstromes synchronisiert werden. Diese Synchronisierung ist, wie die Erfahrung bereits bewiesen hat, dadurch in einwandfreier Weise gesichert, daß das Ansteckklötzchen der Spiralfeder zentrisch zum Unruhmittelpunkt beweglich angeordnet ist und durch eine kleine Kurbel von einem Motor-Übersetzungsrade aus um rund 1,5 mm auf- und abbewegt wird.

Die Schwingungs-Sollzahl der Unruh ist 270 Halbschwingungen/min, also $4\frac{1}{2}$ Halbschwingungen sekundlich; die Umdrehungszahl der die Kurbel antreibenden Welle ist halb so groß, so daß jeder Halbschwingung der Unruh eine Auf- oder Abwärtsbewegung des Spiralklötzchens entspricht. Denkt man sich nun eine Unruh mit Spiralfeder ohne Anker allein in eine Uhr eingesetzt, und verändert man dann die Stellung des Spiralklötzchens, beispielsweise nach rechts, so wird die Unruh dieser Bewegung folgen; ihre Schenkel werden sich um den gleichen Winkel nach rechts verstellen, um den das Spiralklötzchen versetzt wurde. Ein in rascher Aufeinanderfolge ausgeführtes Verschieben des Spiralklötzchens wird daher die Unruh in Schwingungen versetzen, und zwar in um so stärkere Schwingungen, je regelmäßiger die Verschiebungen des Klötzchens durchgeführt werden; je genauer sich die sekundliche Anzahl der Verschiebungen mit der sekundlichen Schwingungszahl der Unruh deckt, desto besser sind Verschiebungs- und Schwingungszahl miteinander im Synchronismus.

Das bestätigt drastisch ein Versuch mit der mit einer einregulierten Spiralfeder versehenen Uhr: Stellt man das Ankerrad derartig fest, daß die Ankergabel sich frei bewegen kann, läßt den Motor anlaufen und gibt dann die mit einem Finger festgehaltene Unruh frei, so wird man feststellen können, daß nach rund sechs Sekunden die Unruh $\frac{5}{6}$ Umgänge schwingt. In dieser kurzen Zeit sind ihre Schwingungen allein durch den Antrieb der Spiralfeder (den Kurbelantrieb) aus dem Stillstand bis zum Höchstwert hochgeschaukelt worden. Weiter ist festzustellen, daß die durch den Kurbelantrieb auf die Unruh einwirkende Schwingungsenergie viel größer ist als die durch die Ankergabel erteilte. Denn ein Versuch lehrt auch, daß bei alleinigem Gabelantrieb rund sieben Sekunden vergehen, bis die Unruh auf $\frac{5}{6}$ Umgänge kommt. Dieser erhebliche Unterschied erklärt sich dadurch, daß der Unruh bei jeder Halbschwingung durch die Gabel ein nur einmaliger, kurzzeitiger Antrieb erteilt wird, während die Kurbel die Spiralfeder und damit die Unruh dauernd steuert. Arbeiten aber (bei laufendem Motor) Gabelsteuerung und Kurbelsteuerung zusammen im Synchronismus, so erhöht sich die Amplitude der Unruh sofort von $\frac{5}{6}$ auf

1¼ Umgänge, so daß die Unruh in kurzen Abständen prellt. Dieses Prellen ist ohne Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Schwingungen und damit auf den Synchronismus, eben infolge der ständigen Steuerung.

Die Kurbelsteuerung stellt eine vom Motor ausgehende, zeitlich selbstständige Beeinflussung der Unruh dar. Der Gabelantrieb ist dagegen zeitlich unselbstständig, weil er von den Auslöse-Impulsen der Unruh abhängt. Somit muß, wenn zwischen Motorumdrehungen und Zeitangabe der Uhr Synchronismus bestehen soll, die Zeitfolge der Unruhschwingungen zu der Kurbelsteuerungsphasengleich sein. Das heißt nicht, daß etwa im Motoranlaufstadium die Kurbelsteuerung zeitgleich mit den Unruhschwingungen einsetzen muß; die zwangsläufige Kurbelsteuerung erzwingt diesen Gleichlauf nach wenigen Schwingungen. Es ist vielmehr erforderlich, daß die Zeitabstände zwischen den einzelnen Unruhschwingungen den Zeitabständen der einzelnen Kurbelschwingungen gleich sind. Da die Kurbelsteuerung das kommandierende Organ für die genaue Zeitangabe ist, so muß die Unruh-Schwingungszahl durch genaue Einstellung der Spiralfederlänge auf einen innerhalb der „Synchronisationsgrenze“ gelegenen Wert gebracht werden. Dieser Wert ist durch Versuche festgelegt worden; es ergab sich, daß die Unruh noch sicher der Motorsteuerung folgt, wenn ihre Schwingungen mit einem Plus oder Minus von fünfzehn Halbschwingungen von dem Sollwert abweichen, wenn also die Unruh zwischen 255 und 285 Schwingungen je Minute macht. Andererseits darf die Periodenzahl des Wechselstromes ohne Störung der Synchronisierung um vier Prozent von ihrem Sollwert abweichen. Es ist selbstverständlich dem Uhrmacher ein leichtes, eine Spiralfeder so zu stecken, daß die Unruh eine zwischen den angegebenen Grenzen liegende Schwingungszahl einhält; es wird ferner selbst kaum in einem nicht frequenzgesteuerten Netz vorkommen, daß bei der Frequenz von 50 Perioden Schwankungen von zwei Perioden entstehen; in einem frequenzgesteuerten Netz aber bestimmt nicht.

Es ist sehr aufschlußreich festzustellen, wie sich das Verhältnis der Unruhschwingungen zu den Kurbelsteuerungen bei mangelhafter Synchronisierung gestaltet. Die nachstehenden kurzen Ausführungen behandeln diese Frage.

Die auf eine Schwingungszahl in der Zeiteinheit oder, anders ausgedrückt, auf eine bestimmte Schwingungsdauer abgestimmten Halbschwingungen einer Uhr sollten „periodisch“ verlaufen, sich in graphischer Darstellung zu regelmäßig geformten Schaulinien zusammensetzen lassen. Eine Schwingung gilt dann als periodisch, wenn sowohl die aneinandergereihten Schwingungen von genau gleicher Zeitdauer sind, wie auch wenn in den verschiedenen Zeitabschnitten der Schwingungsdauer sich der gleiche Vorgang stets gleichmäßig wiederholt. Diese theoretische Forderung wird, hauptsächlich wegen der veränder-

lichen Kraft- und Reibungsverhältnisse, von einer Unruh praktisch um so mangelhafter erfüllt, je weniger die Uhr in „Präzisions-Ausführung“ gebaut ist. Um nun die Schwingungen doch möglichst periodisch zu gestalten, ist die besprochene Uhr mit einem Synchronmotor gekuppelt, dessen fast vollkommen periodische Umdrehungen die Spiralfeder über ein Kurbelgetriebe „anstoßen“. Die Unruh erhält also einen doppelten Antrieb und wird dadurch in „erzwungenen“ Schwingungen versetzt. Diese erzwungenen Schwingungen entstehen logischerweise durch die Summierung der Gabel- und der Kurbelimpulse, deren Summenkräfte der Unruh einen Schwingungsbogen von bestimmter Größe aufdrücken. Es wurde bereits ausgeführt, daß an der Größe (Amplitude) des Schwingungsbogens der Kurbelantrieb den größeren Anteil hat.

Der Sollwert einer Halbschwingung unserer Uhr ist $270 : 60 = 4,5/\text{sek.}$ Wenn also sowohl die durch das Trägheitsmoment der Unruh, die Elastizität (Federkraft) der Spiralfeder und die Größe des Gabelantriebes gegebene freie Schwingungsdauer wie auch die auf die Spiralfeder übertragene Kurbelschwingungsdauer beide gleich $4,5/\text{Sek.}$ sind, so zwingt die überragende Kurbelkraft die beiden Antriebe in zeitengleiche Schwingungen; sie sind genau im Synchronismus und vereinigen sich zu einem Höchstwert des Unruh-Schwingungsbogens. (Die Techniker sagen, es besteht „Resonanz“.) In der Praxis wird jedoch die Unruh ihre Soll-Schwingungszahl nie genau einhalten, wie auch der Kurbelantrieb kleine zeitliche Unterschiede zeigt, die jedoch durch die Frequenzsteuerung des Elektrizitätswerkes immer wieder ausgeglichen werden. Wenn wir davon absehen, daß auch die Energie des Gabelsowie des Kurbelantriebes infolge von Kraft- und Reibungsänderungen nicht konstant sind, so haben wir bei solchen Abweichungen also erzwungene Unruhschwingungen zu betrachten, die durch zwei Energien von mehr oder weniger ungleicher Schwingungsdauer zustande kommen. Kennen wir die Größen der Kräfte und stellen ihren zeitlichen Verlauf graphisch dar, so erhalten wir somit zwei Schaulinien mit ungleichen Wellenlängen. Die Summierung von Schwingungen ungleicher Wellenlängen ergibt stets eine Abnahme der Summenkräfte, in unserem Falle also durch sie bewirkt eine Verkleinerung der Schwingungsweite der Unruh. Wird diese Verkleinerung bedeutend, so ist es erklärlich, daß die Uhr aus dem Synchronismus mit der Frequenz des Wechselstromes fällt; denn die kleinen Schwingungen verlaufen schneller als die großen. Warum aber durch die Ungleichheit der Wellenlängen eine Abnahme der Summenkraft bedingt ist, wollen wir uns im Prinzip noch klarmachen.

Zwecks möglichst einfacher Darstellung sei als ein beispielhafter Fall recht erheblicher Abweichung der beiden Schwingungen angenommen, daß die freien, d. h. noch nicht durch die Kurbel beeinflussten Unruh-

Schwingungen um 15 Schwingungen je Minute zu langsam sind, daß die Uhr also in der Minute nicht 270, sondern nur 255 Schwingungen macht. Ferner sei gegeben, daß diese Schwingungen periodisch sind, und daß auf die Spiralfeder die ebenfalls periodische Soll-Schwingungszahl von 270/min des Kurbelantriebes einwirkt.

Der unter solchen Umständen entstehende zeitliche Verlauf der beiden freien Schwingungen ist in der Abbildung 60 ohne Berücksichtigung der Amplituden beider Kräfte dargestellt; dabei haben wir der Einfachheit halber ferner vernachlässigt, daß die

Berichtigung

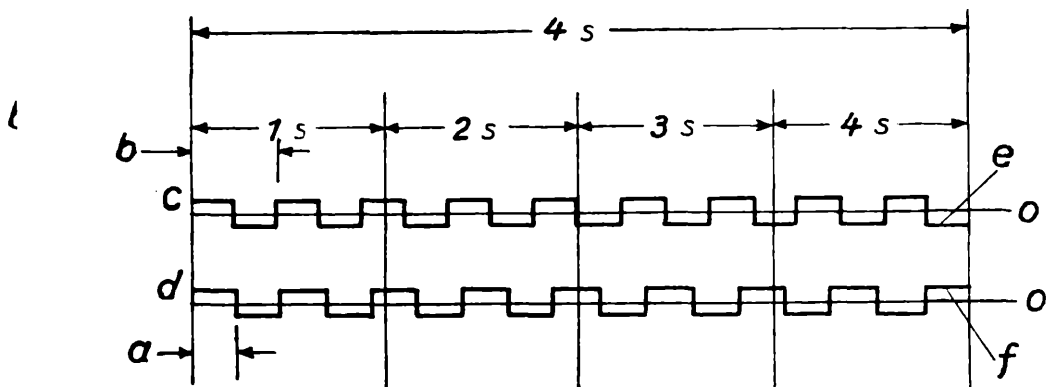


Abb. 60. Schematische Darstellung zweier überlagelter Schwingungen mit verschiedenen Wellenlängen über den Verlauf von 4 Sekunden

Form des Kraftverlaufs während eines Wechsels nicht wie in der Abbildung als gerade Linie in gleicher Höhe verläuft, sondern sich in komplizierteren Kurvenformen darstellt. Die obere Kennlinie *c* entspricht dem zeitlichen Verlauf der Kurbelschwingungen, die untere *d* dem der nacheilenden (siehe Anhang, Teil 2, dieses Bandes) freien Unruherschwingungen. Bezeichnet man die Strecke *a*, die einer Unruh-Rechtsschwingung entspricht, als „positiven“ und die anschließende, unterhalb der Mittellinie 0 liegende Strecke als „negativen“ Wechsel (siehe Anhang, Teil 1, dieses Bandes), so ergibt sich eine Periodenzahl von $255 : (60 \times 2) = 2,125$ und eine solche des Kurbelantriebes von $270 : (60 \times 2) = 2,25$. Die beiden Kennlinien reichen über vier Sekunden; die positiven und negativen Zeitabschnitte sind durch Senkrechte zu einer Zickzacklinie verbunden, so daß je ein Rechts- und Linkskurbelantrieb bzw. je eine Rechts- und Linksschwingung sich zu einer Periode *b* zusammensetzen.

Infolge der ungleichen Schwingungsdauer bzw. Periodenzahl ($2,125 : 2,25$) ergibt sich nun, wie die Abbildung nachweist, daß ein Aneinanderreihen der Einzelschwingungen zu immer größeren zeitlichen

Differenzen zwischen Kurbel- und Unruhschwingungen führt. Man erkennt beispielsweise sehr deutlich, daß nach Verlauf der zweiten Sekunde die Kurbel den fünften positiven Wechsel bereits vollendet hat, während die Unruhschwingungen genau um einen halben Wechsel nach-eilen. Am Schluß der vierten Sekunde ist diese Nacheilung bereits auf einen ganzen Wechsel angewachsen; denn achtzehn Kurbelwechsel stehen siebzehn Unruhwechseln gegenüber. Dadurch aber ergibt sich die Tatsache, daß der achtzehnte Kurbelwechsel *e* negativ und der siebzehnte Unruhwechsel *f* positiv ist, mit anderen Worten: Unruh-Schwingung und Kurbelantrieb arbeiten in entgegengesetzter Richtung.

Hiermit haben wir auch den Beweis für die Abnahme des erzwungenen Schwingungsbogens der Unruh bei zeitlicher Verschiebung der beiden Antriebskräfte gewonnen. Beträgt beispielsweise die freie Schwingungsenergie der Unruh 1 cmg und die des Kurbelantriebes 4 cmg, so ergibt sich nach der Darstellung in der Abbildung für den letzten Wechsel der

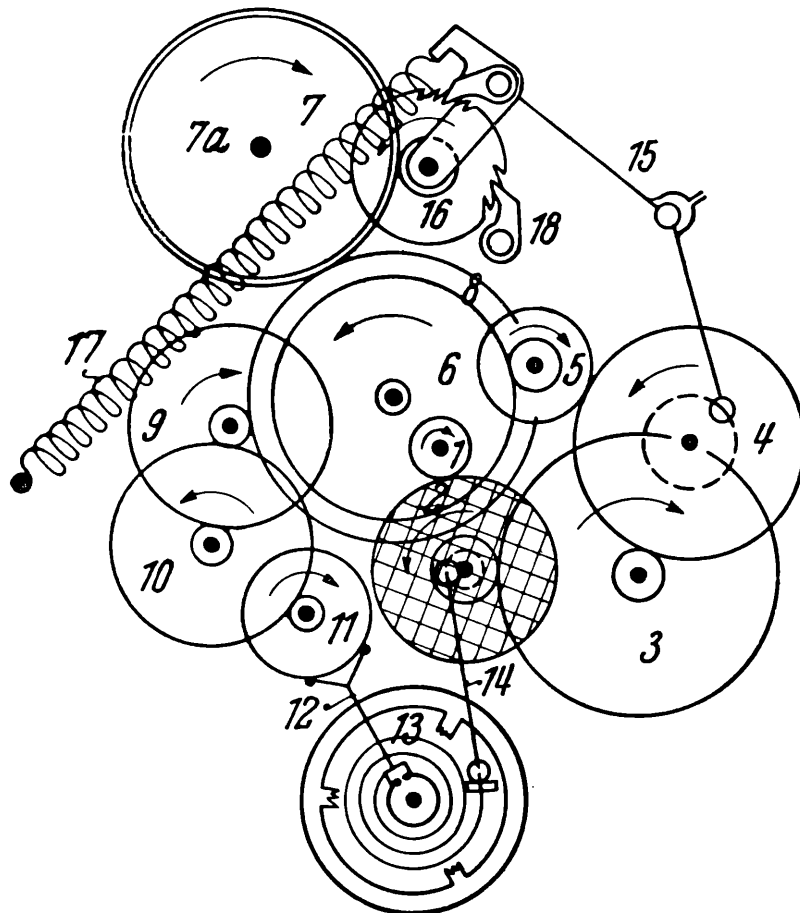


Abb. 61. Schema der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

vierten Sekunde ein Summenantrieb von $4 - 1 = 3$ cmg. Die angenommene Phasenverschiebung läßt also die Antriebsenergie für den Verlauf dieses einen Wechsels von 5 auf 3 cmg oder auf 60 % sinken. Die Abbildung lehrt weiter, daß dieses Absinken der Energie der erzwungenen Schwingung schon bei dem ersten Wechsel beginnt, um bis zum achtzehnten Wechsel zuzunehmen. Bei einer Weiterverfolgung der zeitlichen Verschiebungen wird man ein periodisches Anwachsen und Abklingen der Antriebsenergie der erzwungenen Schwingung feststellen. Klappt man nämlich die Kennlinien der

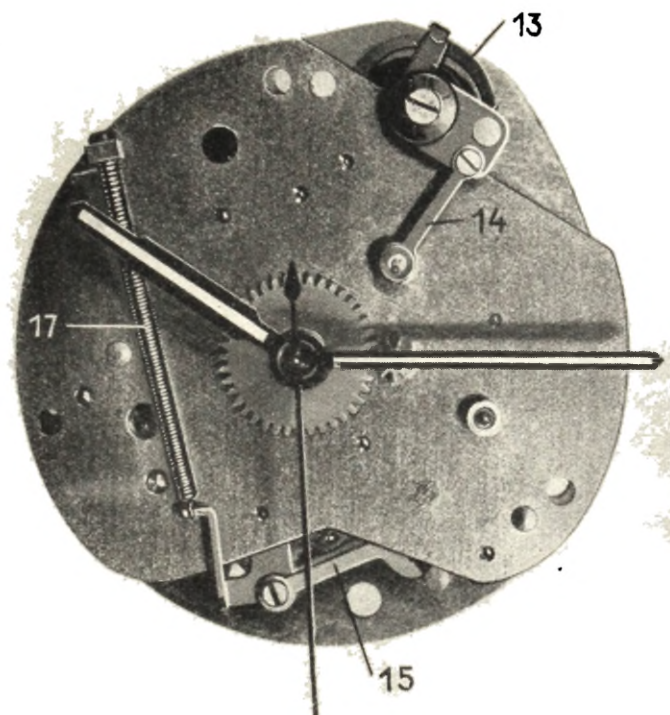


Abb. 62a. Vorderansicht der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

Abbildung nach rechts um, so entsteht im Spiegelbild das Verhältnis für die nächsten vier Sekunden. Die Verzögerung der Unruh-Schwingungen wird ein Ansteigen der Energie ergeben, um am Ende der achten Sekunde mit dem Höchstwert abzuschließen. Eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Schwingungssystemen der Uhr erzeugt somit eine periodisch verlaufende veränderliche Schwächung der Summenenergie.

Bis zu welchem Grade nun die Uhr eine Phasenverschiebung verträgt, um noch eben synchron mit der Stromfrequenz zu laufen, wird allgemeingültig unter Berücksichtigung der hier vernachlässigten verschiedenen Einflüsse wie Reibung, Dämpfung usw. nur durch die Auswertung

von einer Reihe oszillographischer Aufnahmen feststellbar sein. Praktische Einzelversuche haben sehr günstige, vorstehend bereits mitgeteilte Grenzen ergeben.

In der Abbildung 61 ist die Anordnung der Werkteile schematisch dargestellt; in den Abbildungen 62a und 62b sind die Einzelheiten in Ansicht erkennbar. Das Motortrieb 1 greift in das aus Isoliermaterial bestehende Rad 2 ein, auf dessen vorstehender Triebwelle ein Exzenter sitzt, der mittels Kurbelstange 14 das Spiralklötzchen auf- und abbewegt,

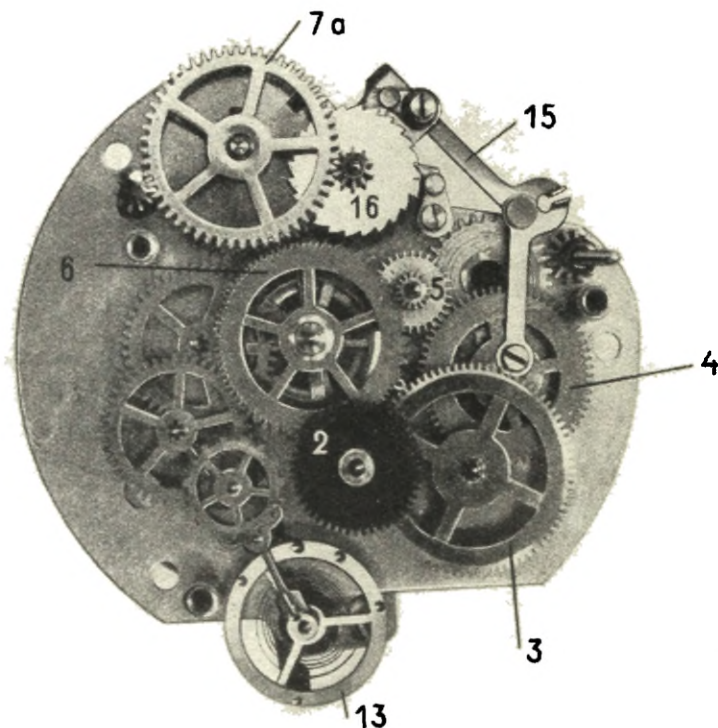


Abb. 62b. Räderwerk der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

wie dies aus Abbildung 61 deutlich ersichtlich ist. Ein Übersetzungsrad 3 treibt von dem Trieb des Rades 2 aus das Aufzugrad 4 an, das über eine Scherenkupplung 15 einen auf der Welle des zweiten Aufzugrades 16 angebrachten drehbaren Aufzugarm mit Aufzugklinke bei jeder Umdrehung nach unten zieht. Ist das geschehen, so zieht bei weiterem Drehen des Rades 4 die lange Schraubenfeder 17 die Aufzugklinke nach oben, wodurch das Rad 16 um einen Zahn nach links gedreht wird, so daß das mit dem Trieb dieses Rades im Eingriff stehende, auf dem Federkern des Federhauses 7 befestigte Rad die Feder ein wenig aufzieht. Die Sperrklinke 18 schützt das Federrad gegen Rücklauf; ein

*in dieses besonders eingreifendes Trieb mit nach hinten vorstehender Welle ermöglicht den Aufzug der Feder von Hand.

Ist die Zugfeder ganz aufgezogen, so kann die Feder 17 mittels der Aufzugklinke das Rad 16 nicht weiter nach oben ziehen. Wenn dann das Rad 4 die Kurbelstange 15 in ihre tiefe Lage (nach oben) dreht, so öffnet sich ihre Schere, so daß Klemmungen und Verbiegungen nicht entstehen. Diese Aufzugvorrichtung ist ganz besonders einfach.

Das Federhaus steht in Eingriff mit dem Minutenrad 8, das die Kraft über die Räder 9 und 10 zum Hemmungsrad leitet. Die Feder läuft in acht bis neun Stunden ab; man kann diese Gangreserve als genügend groß ansehen.

Das Aufzugrad 4 treibt über das Rad 6 den Sekundenzeiger an. Diese geschickte Anordnung gibt eine Kontrolle der Stromunterbrechungen: Bleibt der Strom aus, so bleibt der Synchronmotor stehen und mit ihm auch der Sekundenzeiger. Die Uhr geht dann außer Synchronismus weiter und mit ihr der Minuten- und der Stundenzeiger. Bei Stromrückkehr läuft der Motor selbsttätig an; die Kurbel 14 dreht sich wieder, und das überragende Kraftmoment der Verschiebungen des Spiralklötzchens bringt die Uhr nach kurzer Zeit wieder in den Synchronismus mit der Frequenz des Wechselstromes.

Assa-Gangreserve-Synchronuhr

Die Firma A. Schild S. A. in Grenchen (Schweiz) hat eine weitere Gangreserve-Synchronuhr mit Unruhwerk („Assa“-Uhr) auf den Markt gebracht, die in Abbildung 63 dargestellt ist. Der Synchronmotor ist ein selbstanlaufender Schnellläufer mit einer Drehzahl von 3000 Umdr./min, dessen Spule mit einer Anzapfung zum Betrieb für 110 oder 220 Volt versehen ist. Von den Motorblechen aus führt ein magnetischer Nebenschluß SB zu der Unruh U, die auf der einen Seite mit einem Eisenstreifen St und auf der anderen mit einem schwerpunktausgleichenden Messingstreifen Me versehen ist. Im stromlosen Zustande üben die Pole des Nebenschlusses SB auf die Unruh keinen Einfluß aus

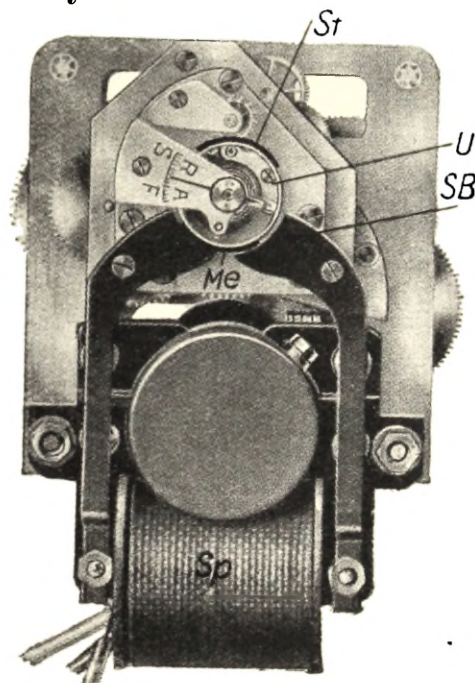


Abb. 63.
Werk der Assa-Gangreserve-Synchronuhr

(falls keine Remanenz im Eisen besteht), so daß das Reservewerk geht. Bei umlaufendem Motor halten dagegen die Pole den Eisenstreifen *St* fest, und zwar in einer Lage, welche die Spiralfeder etwas anspannt und damit den Wiederanlauf der Unruh sichert. Setzt der Strom aus, so treibt das auf der Minutenwelle sitzende Federhaus über eine Reibungskupplung die Minutenwelle an. Ein Sekundenzeiger oder eine Vorrichtung zum Erkennen des Stromausfalls ist nicht vorgesehen.

Als ein Nachteil muß es angesehen werden, daß das Reservewerk nur bei Stromunterbrechungen arbeitet.

Kienzle-Gangreserve-Synchronuhr

Die Bauart der Firma Kienzle Uhrenfabriken in Schwenningen, die bisher nur durch die Patentliteratur bekannt ist, vermeidet das dauernde Stillstehen des Reservewerkes durch ein zwangsläufiges periodisches Ingangsetzen dieses Werkes. Die Anordnung ist in Abbildung 64 schematisch gezeigt. Der Anker *b* wird durch das Statoreisen angezogen, so daß mittels der Feder *d* die Unruh stillgestellt, bei Stromunterbrechung aber freigegeben wird. Die Kurvenscheibe *e* dreht sich mit dem Synchronlaufwerk langsam herum. Sobald der Hebel *f* aus der Lücke der Kurve heraustritt, was also regelmäßig auch während des Synchronlaufs erfolgt, gibt *f* die Sperrung der Unruh frei, so daß das Reservewerk anläuft und eine kurze Zeit immer in Betrieb ist, die Ölverdickung also ausgeschaltet wird.

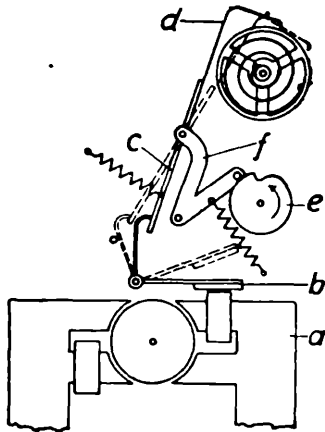


Abb. 64. Schema der Kienzle-Gangreserve-Synchronuhr

Ato-Synchron-Pendeluhr mit Gangreserve

Als Gangreserve für synchronisierte Pendeluhrwerke sind zwei Konstruktionen von M. Lavet, dem Erfinder der in Band I eingehend beschriebenen Ato-Uhren, bekannt geworden. In Abbildung 65 ist eine dieser sehr einfachen Ideen gezeigt. Der an dem Pendel der elektromagnetisch von einem Element aus betriebenen Ato-Uhr unten angebrachte Dauermagnet (siehe Band I, Seite 68) wird außer von dem Solenoid (Elektromagnetspule) noch von einem umlaufenden Dauermagneten beeinflusst. Dieser wird durch den Synchronmotor gesteuert mit einer derartigen Geschwindigkeit des Umlaufs, daß eine Umdrehung dem Sollwert einer Pendel-Doppelschwingung gleichkommt; dabei

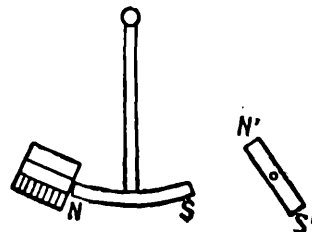


Abb. 65. Schema der Ato-Gangreserve-Uhr mit magnetischer Synchronisierung

ist vorausgesetzt, daß dem rechtsseitigen Pol des Pendelmagneten bei Rechtschwingung ein ungleichnamiger Pol des Regelmagneten gegenübersteht. Hat die Uhr Voreilung, so wird das Pendel von dem umlaufenden Regelmagneten zurückgehalten, also zeitlich verzögert; bei Nacheilung erfolgt Anzug des Pendelmagneten durch den Regelmagneten und dadurch Beschleunigung.

Die zweite Bauart von Lavet ist in Abbildung 66 schematisch gekennzeichnet; sie stellt eine mechanische Synchronisierung des Pendels dar. Durch das Räderwerk des nur angedeuteten Synchronmotors *M* wird ein Exzenter *e* in Umdrehung gesetzt, der mittels einer Gabel eine lange Regulierfeder *L* hin- und herschwingen läßt. Auch diese Konstruktion verlangt eine Geschwindigkeit des Exzenterumlaufs, die der Feder *L* eine der Sollzeit der Pendelschwingungen gleiche Schwingungszeit gibt. Hat die Uhr Voreilung, so berührt die Gleitrolle des Pendels die Feder *L* später; das Pendel schwingt also weiter aus und wird verzögert; besteht Nacheilung, so zwingt die Feder das Pendel vor dem vollen Ausschlag zur Umkehr.

Eine ähnliche, für Tarifschaltuhren bestimmte Einrichtung wird von den *Heliowattwerken* in Berlin-Charlottenburg benutzt.

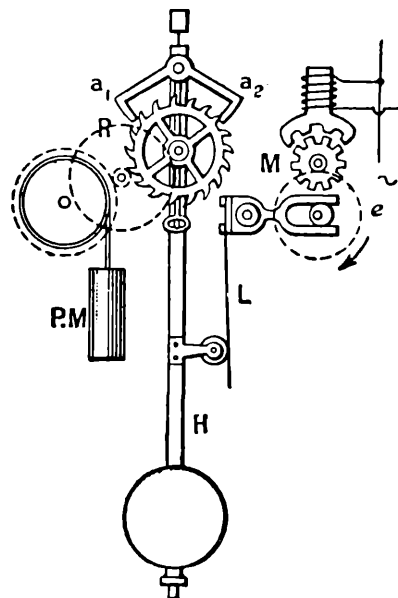


Abb. 66. Schema der Ato-Gangreserve-Uhr mit mechanischer Synchronisierung

Zachariä-Synchronpendler

Eine überraschend einfache Einrichtung zum mechanischen Synchronisieren von Pendeluhrn hat die Turmuhrnfabrik *Bernhard Zachariä* in Leipzig vor einigen Jahren unter der Bezeichnung „Synchronpendler“ herausgebracht. Die Abbildung 67 zeigt diese einfache Vorrichtung.

In der linksseitigen Kapsel ist ein *Anwerf-Synchronmotor* mit einer Übersetzung untergebracht, deren letzte Welle auf eine Kurbelstange arbeitet. An dem freien Ende dieser Stange ist ein unten stumpfwinklig ausgeschnittener *Führungsbügel* befestigt, der mit einem Teileigengewicht der Kurbelstange auf einem in der Pendelstange befestigten Stift aufliegt. Entsprechend der Höhe, in welcher der Pendelstift angebracht wird, und entsprechend der Pendelamplitude kann der Kurbelradius passend eingestellt werden.

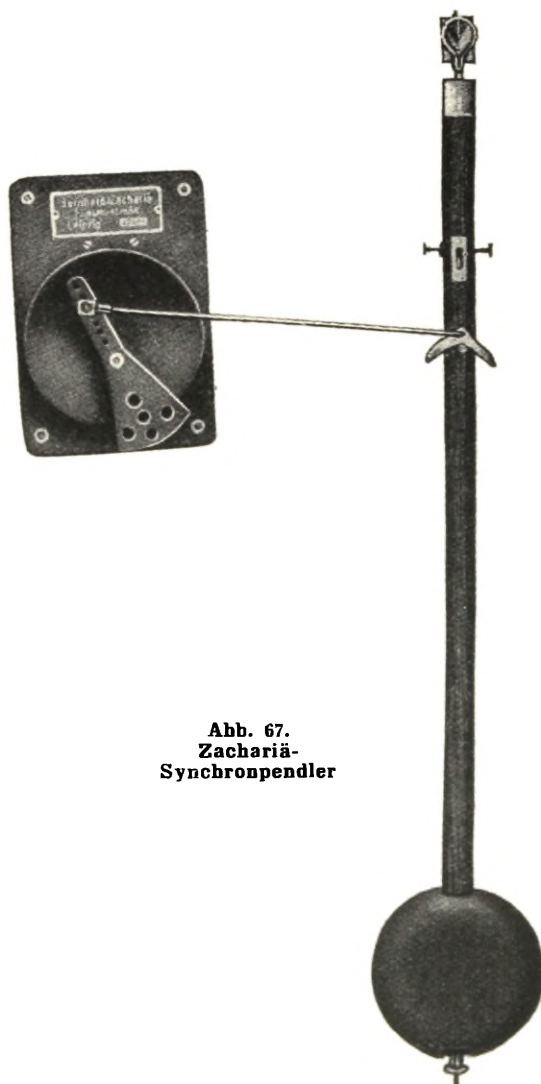


Abb. 67.
Zachariä-
Synchronpendler

Die Übersetzung des Motors zur Kurbel muß so gewählt werden, daß einer Soll-Doppelschwingung des Pendels eine Kurbelumdrehung entspricht. Es ist ohne weiteres verständlich, daß das Pendel bei einer Voreilung gegen die Sollzeit von dem Bügel zurückgehalten und bei Nacheilung beschleunigt wird. Bei Stromunterbrechung bleibt die Kurbel stehen, wodurch bei der nächsten Pendelschwingung der Bügel von dem Pendelstift abgleitet und die Kurbel herabfällt, so daß die Uhr unbeschwert selbständig weitergeht. Nach Stromrückkehr muß dann der Motor von Hand angeworfen und der Bügel wieder auf den Stift gelegt werden. (Eine Signallvorrichtung für Stromausfälle erscheint bei den schwer zugänglichen Turmuhren zweckmäßig, damit bald nach Wiedereinsetzen des Stromes das Pendel wieder in Synchronismus mit der Netzfrequenz gebracht wird.)

Nach vorliegenden Zeugnissen von Kirchenbehörden

hat sich diese einfache Pendelsynchronisation sehr gut bewährt; auch hat die deutsche Uhrmacherschule in Glashütte sie geprüft und mit Erfolg an ihrer Außenuhr praktisch erprobt. Da der Preis ein geringer ist, so ist hiermit dem Fachmann bei Netzen mit Frequenzregulierung Gelegenheit geboten, mit dem nachträglichen Anbringen der Vorrichtung an Turm-, Schul- und Fabrikuhren einen Verdienst zu finden und die Zeitangaben aller öffentlichen Uhren seiner Umgebung genau einheitlich zu regeln — eine Tat, die bestimmt als Dienst am Volk zu werten wäre.

f) Nachstellvorrichtungen für gangreservelose Synchronuhren

Aus der Beschreibung der Einzelfabrikate in den Abschnitten a) bis c) ergibt sich, daß für Tis ch u h r e n aller Art zum Ein- und Nachstellen der Zeiger häufig ein an der Rückwand angebrachter K n o p f angewendet wird. Ebenso dient häufig zum Anwerfen der nicht selbstanlaufenden Motoren ein unter Federdruck stehender H e b e l oder ein Knopf. Für W a n d u h r e n und für Uhren für das Freie sind dagegen S t e l l - und A n w e r f s t a n g e n mit Knopf am Ende in Gebrauch, die außerhalb des Zifferblattreifens im Gehäuse nach unten vortreten und durch Drehung oder Zug zu betätigen sind. Für an schwer zugängigen Stellen und für freistehende und regensichere Uhren versagen aber diese Einrichtungen, weil man an sie nur schwer, unter Umständen nur durch Aufbau eines hohen Gerüsts, heran kann.

Für solche Fälle haben die H e l i o w a t t w e r k e in Berlin-Charlottenburg eine besondere Anordnung mit elektrischer Zeigernachstellung geschaffen, deren Wesen darin besteht, daß ein besonderer selbstanlaufender Asynchronmotor mit den Übersetzungsrädern der Uhr derartig gekuppelt ist, daß er die Zeiger ungefähr zwanzigmal schneller fortbewegt, als es durch den Synchronmotor geschieht.

Im normalen Betrieb ist dieser Nachstell- oder „S t a r t e r - m o t o r“ stromlos, so daß sein Rotor leerlaufend von dem Räderwerk der Uhr mitgenommen wird. Bleibt der Betriebsstrom aus, so daß der Synchronmotor stehenbleibt und nach Rückkehr wieder angeworfen werden muß, so setzt man den Asynchronmotor durch einen Schalter unter Strom,

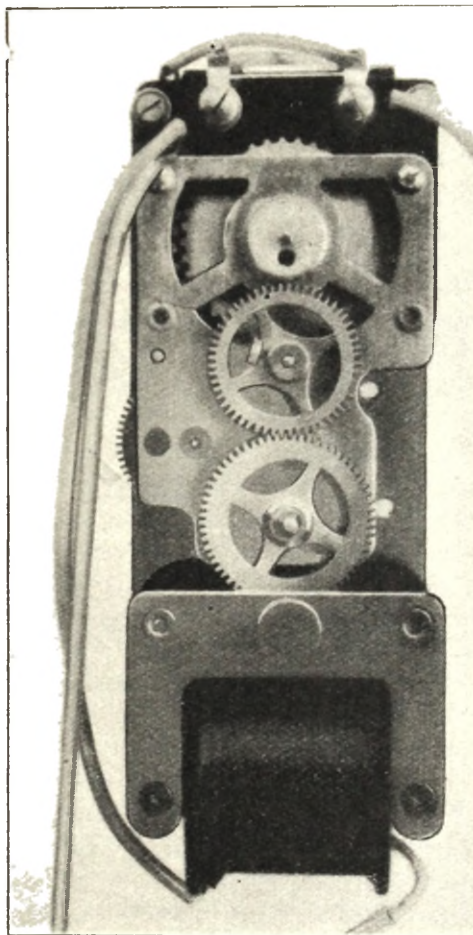


Abb. 68. Helio watt-Synchronuhr mit Nachstellvorrichtung (Startermotor), kleines Werk

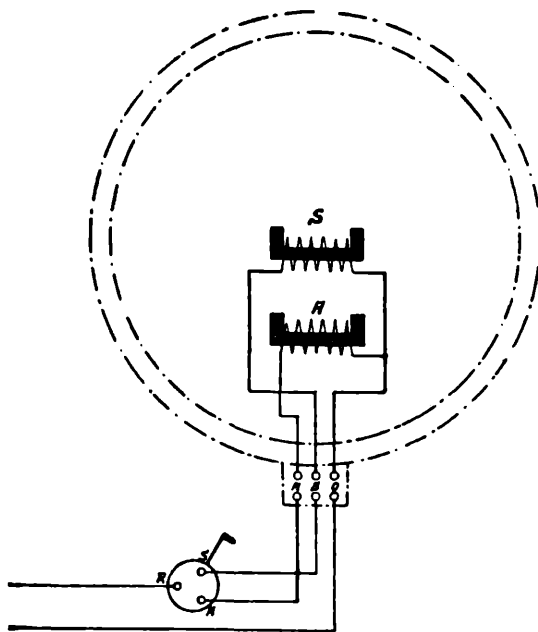


Abb. 69. Schaltung für die Nachstellvorrichtung der Heliowatt-Synchrouhr

der dann mit hoher Drehzahl die Uhr fortstellt, wobei der Rotor des Synchronmotors mitläuft und in eine übersynchrone Drehzahl kommt, so daß er nach Abschaltung des Asynchronmotors in Synchronismus fällt und die Uhr normal weiterläuft. Die einzige Schwierigkeit in Anwendung dieser praktischen Einrichtung besteht darin, den nachstellenden Asynchronmotor im richtigen Augenblick abzuschalten, da die Schwingkraft der in schnelle Drehung gesetzten Zeiger das Werk noch weitertreibt.

Die Firma liefert diese Nachstellvorrichtung an ein kleineres und an ein größeres Werk angebaut. Das kleine Werk ist in Abbildung 68 in Rückansicht dargestellt.

Das Gehwerk mit Anwerfmotor ist das gleiche, wie es die Abbildungen 27 und 28 zeigen; doch ist an Stelle eines Anwerfers der oben sichtbare Asynchronmotor eingebaut. Sein Rotor arbeitet über zwei Übersetzungsräder auf die dritte Triebwelle, die in der Tischuhr nach Abbildung 27 den Anwerfknopf trägt.

Die Schaltung dieser Uhren mit Startermotor ergibt sich aus der Abbildung 69. Die von den beiden Motoren kommenden drei Leitungen endigen in einer dreipoligen Lüsterklemme, die mit den Buchstaben A, S, O bezeichnet ist. An geeigneter Stelle wird ein dreipoliger Schalter mit den Bezeichnungen R, S, A angebracht. An seine Klemme R legt man eine der beiden Wechselstromleitungen; die zweite führt zu der Klemme O der Lüsterklemme. Dann sind noch die Klemmen S—S und A—A der Lüsterklemme und des Schalters durch je eine Leitung miteinander zu verbinden.

Steht der eine, mit einem weißen Punkt versehene Arm des Schaltergriffs auf R, so ist die Uhr stromlos. Dreht man ihn auf A, so erhält der Asynchronmotor Strom; er wirft also die Uhr an und stellt die Zeiger fort. Im geeigneten Augenblick stellt man dann den Schalter auf S, wodurch der Synchronmotor eingeschaltet, der Asynchronmotor wieder ausgeschaltet wird. Das Einstellen dieser Uhren auf ganz genaue Zeit wird etwas geübt werden müssen, vor allem wenn ein Sekundenzeiger wirklich sekundengenaue Zeit zeigen soll.

11. Der Stromverbrauch und sein Einfluß

Der Wirkverbrauch

Der Stromverbrauch einer elektrischen Einzeluhr (Band I) ist wegen des kurzzeitigen Aufzugvorgangs so unbedeutend, daß man ihn vernachlässigen kann. Dagegen läuft der Motor der Synchronuhr dauernd, und so summiert sich sein Monatsverbrauch zu einem kleinen Geldwert, dessen Höhe nicht mehr ohne weiteres nebensächlich ist.

Die ältesten Synchronuhren mit Selbstanläufer verbrauchten 4 Watt, entsprechend einem Monatsverbrauch von $\frac{4 \times 24 \times 30}{1000} = 2,88$ Kilowattstunden. Ein derartig hoher Verbrauch einer kleinen Zimmeruhr ist untragbar, und viele dieser Uhren sind der Stromkosten wegen aus dem Netz genommen worden.

Heute ist der Verbrauch sehr stark heruntergedrückt worden; ein Selbstanläufer verbraucht 1,8 bis 2 Watt, also 1,30 bis 1,45 Kilowattstunden monatlich. Der Anwerfmotor arbeitet erheblich sparsamer; sein Verbrauch schwankt zwischen 0,65 und 2 Watt, je nach Größe des Werkes und der Qualität, so daß ein Monatsverbrauch von 0,47 bis 1,45 Kilowattstunden entsteht.

Nun kommt freilich für den Betrieb noch eine stark Stromkosten sparende Tatsache hinzu, die sich aus der Eigenheit der Elektrizitätszähler ergibt. Ein Zähler für Licht läuft im neuen Zustande mit rund 0,5 Prozent seiner Nennlast an; durch den Gebrauch steigt dieser Wert bis auf 1 Prozent. Ein Zähler für 220 Volt und 3 Ampere läuft daher erst bei einer Belastung von $\frac{220 \times 3 \times 0,5}{100} =$

3,5 Watt an, ein Zähler für 220 Volt und 5 Ampere erst bei 5,5 Watt, ein solcher für 110 Volt und 5 Ampere bei 2,75 Watt. Hieraus folgt, daß man je nach der Zählernennlast zwei bis fünf Synchronuhren mit Anwerfmotor für Zimmeruhren in einer Wohnung anschließen kann, ohne daß der Zähler ihren Verbrauch zählt. Wenn aber gleichzeitig nur eine Lampe brennt, so addiert sich der Verbrauch der Uhren zu dem der Lampe vollständig. Da nun in dem Großteil aller Haushaltungen nur abends und im Winter noch morgens Licht gebraucht wird, so laufen die Synchronuhren bis auf wenige Tagesstunden ohne Stromverrechnung, solange ihr Gesamtverbrauch in einer Wohnung oder einem Büro unterhalb des Zähleranlaufwerts liegt.

Den Wattverbrauch einer Anzahl mir vorliegender Musteruhren habe ich mit einem neuen Präzisionswattmeter nach den im Abschnitt 12 angegebenen Richtlinien eindeutig festgestellt. Die Meßergebnisse sind in der nachstehenden Zusammenstellung enthalten:

1. Schlagwerk mit Anwerfmotor	0,656 Watt
2. Gehwerk für Zimmeruhren mit Anwerfmotor	0,892 Watt
3. Werk für den gleichen Zweck	0,92 Watt
4. Werk für den gleichen Zweck	0,956 Watt
5. Werk für den gleichen Zweck	1,10 Watt
6. Werk für den gleichen Zweck	1,152 Watt
7. Werk für den gleichen Zweck	1,16 Watt
8. Werk für den gleichen Zweck	1,272 Watt
9. Werk für den gleichen Zweck	1,36 Watt
10. Werk für den gleichen Zweck	1,52 Watt
11. Werk für den gleichen Zweck	1,56 Watt
12. Gehwerk für Außenuhren mit Anwerfmotor	1,43 Watt
13. Gehwerk für Zimmeruhren mit Selbstanläufer	1,89 Watt
14. Gehwerk für Außenuhren mit Selbstanläufer	2,05 Watt

Der Blindverbrauch

Der besprochene, vom Zähler gemessene Verbrauch wird der „Wirkverbrauch“ genannt.

Neben ihm besteht noch ein zweiter, der sogenannte „Blindverbrauch“, der die Magnetisierungsarbeit des Magnetsystemes übernimmt. Sein Strom belastet die Leitungen; er wird aber nicht im Zähler gemessen und daher auch nicht berechnet. Der Blindstrom pendelt zwischen der Spule und der Dynamomaschine hin und her, weil bei Beginn jedes Stromstoßes einmal der Magnetismus des Magnetsystemes durch den Blindstrom gebildet wird und zum andern bei Beendigung des Stromstoßes wieder zusammenbricht, wodurch die elektrische Energie wieder frei wird. Es ist im Wechselstromkreis:

$$\text{Wirkverbrauch} = U I \cos \varphi,$$

$$\text{Blindverbrauch} = U I \sin \varphi,$$

wenn mit U die Spannung, mit I die Stromstärke und mit φ der Winkel der „Phasenverschiebung“ zwischen Strom und Spannung bezeichnet wird.

Die geometrische Addition des Wirk- und des Blindverbrauchs ergibt den „Scheinverbrauch“, er bestimmt sich zu

$$\text{Scheinverbrauch} = U I.$$

Wenn auch dem Wirkverbrauch einer Synchronuhr als dem vom Zähler gemessenen Verbrauch die größte Bedeutung zukommt, so ist doch die aus Wirkverbrauch und Scheinverbrauch ermittelte Phasenver-

schiebung zwischen Strom und Spannung (siehe Anhang, Teil 2, dieses Bandes) ein Wert, dessen Kenntnis für die Beurteilung von Aufbau und Herstellung, also der Qualität des elektrischen Teils, von erheblicher Bedeutung ist. Denn je größer der Blindverbrauch eines Magnetsystems im Verhältnis zum Wirkverbrauch ist, und je mehr die daraus resultierende Phasenverschiebung sich dem Wert Null nähert, um so mangelhafter ist das Magnetsystem entworfen oder hergestellt. Eine starke Phasenverschiebung entsteht insbesondere durch große Luftspalte und ungenaue Stoßstellen im Eisenaufbau, und die Folge ist eine hohe Belastung der Spule mit Blindstrom.

An neun Werken der mir vorliegenden Musteruhren habe ich nach den Ausführungen im Abschnitt 12 Messungen zur Bestimmung der Scheinleistung vorgenommen. Die Ergebnisse sind, zusammen mit dem zugehörigen Wirkverbrauch, zur Errechnung der Phasenverschiebung benutzt worden und in der nachstehenden Zusammenstellung enthalten.

Art der Uhr	Wirk- verbrauch Watt	Schein- verbrauch Volt-Ampere	Phasen- verschiebung $\cos \varphi$
1. Gehwerk mit Selbstanläufer (Langsamläufer)	1,35	1,69	0,8
2. Gehwerk mit Anwerfmotor	1,10	1,505	0,73
3. Wecker mit Anwerfmotor	1,16	1,72	0,62
4. Gehwerk mit Anwerfmotor	0,956	1,74	0,55
5. Gehwerk mit Anwerfmotor	0,892	1,87	0,457
6. Gehwerk mit Anwerfmotor	1,152	1,96	0,59
7. Gehwerk mit Anwerfmotor	1,36	2,11	0,65
8. Gehwerk mit Anwerfmotor	1,272	2,40	0,53
9. Wecker mit Anwerfmotor	0,92	3,85	0,24

Es ist bemerkenswert, daß die Uhr Nr. 9 sehr große Luftspalte zwischen Rotor- und Statorzähnen aufweist, während das Magnetgestell der Uhr Nr. 2 augenscheinlich sehr genau hergestellt ist.

Die vorstehende Aufstellung zeigt deutlich, daß die einfache Messung der Stromstärke nicht zur Bestimmung des Wattverbrauchs führen kann. In Gleichstrombahnen ist das zwar ohne weiteres möglich, nicht aber im Wechsel- und Drehstromkreis. Beispielsweise hat die Uhr Nr. 9 einen Verbrauch von 0,92 Watt, woraus sich bei 220 Volt eine Wirkstrom-Komponente von $0,92 : 220 = 0,0042$ Ampere ergibt. Der Scheinverbrauch der Uhr beträgt aber 3,85 VA; somit wird ein Amperemeter den Wert von $3,85 : 220 = 0,0175$ Ampere, also rund viermal so viel, angeben. Das Amperemeter addiert eben stets den Wirk- und den Blindstrom. Die Aufstellung zeigt gleichfalls, daß man bei den stark unterschiedlichen Phasenverschiebungen nicht etwa einen brauchbaren Mittelwert zugrunde legen kann. Der Wirkverbrauch von Synchronuhren muß daher unbedingt durch ein geeignetes Wattmeter ermittelt werden.

12. Die Verbrauchsmessung

Messen von Strom und Spannung — Ermittlung des Scheinverbrauchs

Der vorerwähnte Scheinverbrauch eines Wechselstrom-Apparates ist gleich dem Produkt aus den Angaben eines Volt- und eines Amperemeters. Legt man beispielsweise an die Klemmen eines Apparates ein Voltmeter, das 215 Volt anzeigt, und legt in Reihe zu dem Apparat ein Amperemeter, das 0,05 Ampere anzeigt, so ist der Scheinverbrauch gleich $215 \times 0,05 = 10,75$ Volt-Ampere (VA).

Die Bestimmung kleiner Wechselstromstärken war früher nur mittels besonderer Meßverfahren möglich (Dreivoltmetermethode). Heute baut die Firma P. Gossen & Co. in Erlangen mehrere Amperemeter für Wechselstrom, mit denen man kleinste Stromstärken im Wechselstromkreis bestimmen kann. Zu nennen ist das „Mavometer W G“, welches sowohl für Gleich- wie für Wechselstrom für alle vorkommenden Spannungs- und Stromstärken verwendbar ist, dessen niedrigster Wechsel-

strom - Meßbereich von Null bis zu 3 mA (mA = Milliampere = $\frac{1}{1000}$ Ampere)

reicht, so daß ein Teilstrich der Skala einem Meßwert von 0,5 mA entspricht. Der höchste Strom-

Meßbereich für Gleich- wie Wechselstrom beträgt 12 Ampere; der Spannungs-Meßbereich liegt zwischen 0,01 und 1200 Volt.

Das in Abbildung 70 gezeigte Gerät hat einen eingebauten Vollweg-Trokengleichrichter für die Wechselstrom-



Abb. 70. Gossen-Mavometer W G

Messungen, einen Knebelumschalter und einen Eigenwiderstand von 500 Ohm je 1 Volt. Außerdem baut die Firma noch das „Wepemeter“, ein Wechselstrom-Drehspulgerät, als Voltmeter mit einem geringsten Meßbereich von 0 bis 1 Volt und mit einem höchsten von 0 bis 600 Volt, als Amperemeter von 0 bis 0,1 Milliampere und von 0 bis 100 Milliampere lieferbar. Weiter werden noch frequenzunabhängige Thermo-Meßgeräte sowie ein billiges Volt- oder Amperemeter „Wevo“- bzw. „Weameter“ mit Dreheisensystem bei Meßbereichen von 0 bis 7,5 und 0 bis 600 Volt sowie 0 bis 0,1 und 0 bis 100 Ampere hergestellt. An guten und preiswerten Meßgeräten für kleine Wechselstromgrößen ist somit kein Mangel mehr.

Messen des Wirkverbrauchs mit dem Wattmeter

Der Wirkverbrauch eines Wechselstrom-Apparates wird mit dem Wattmeter gemessen; er ist also an einem einzigen Gerät unmittelbar



Abb. 71. Gossen-Wewattmeter

ablesbar. Jedes Wattmeter besitzt eine Strom- und eine Spannungsspule, die proportional ihrer Belastung gemeinsam auf den Gerätzeiger einwirken, so daß dieser das Produkt aus Spannung und Strom, aber abzüglich des Blindstromes, also den Wert $U I \cos \varphi$, anzeigt.

Diese Geräte sind nicht billig; sie werden als Schalttafel- und Laboratoriumsgeräte von den Firmen Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin, Hartmann & Braun in Frankfurt a. M., P. Gossen & Co. in Erlangen und Siemens & Halske A.-G. in Berlin hergestellt. Ein kleines billiges „Wewattmeter“ der Firma Gossen, das in der Größe ihrer Standardtypen gebaut ist, kann als besonders handlich und praktisch bezeichnet werden; es ist in Abbildung 71 zusammen mit einem Spannungsvorwiderstand mit vier Meßbereichen abgebildet, während die Abbildung 72 einen Vor- und Nullpunktswiderstand mit den drei Spannungs-Meßbereichen 125, 250 und 500 Volt für Wechselstrom und den drei Meßbereichen für 110, 220 und 380 Volt für Drehstrom zeigt. Die Stromspule wird nach Wahl für einen Meßbereich von 0 bis 10 mA bis zu 0 bis 10 Ampere vorgesehen. Ein Knebelumschalter gestattet sowohl die Ausschaltung des Spannungspfadcs wie auch die Bestimmung, ob die Belastung „induktiv“ oder „kapazitiv“ ist (vgl. Anhang, 2).

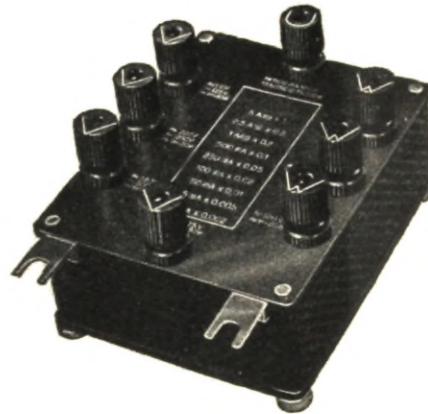


Abb. 72. Universal-Vorwiderstand

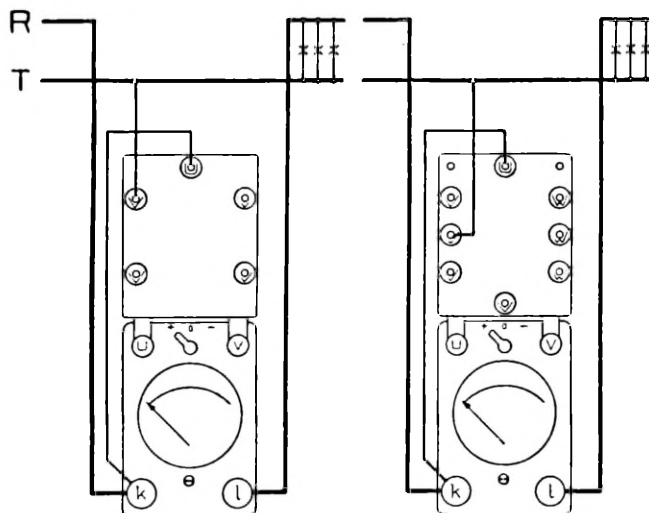


Abb. 73. Wattmeterschaltung

Leistungsmessungen mit dem Wattmeter führen recht oft zu unrichtigen Ergebnissen, und zwar einmal infolge falscher Schaltung und zum anderen wegen mangelnder Kenntnis über die Bestimmung der „Instrument-Konstante“.

Aus Gründen, die hier nicht näher untersucht werden können, ist für die Mes-

sung kleiner Leistungen stets die Schaltung nach Abbildung 73 zu wählen. Die beiden Schaltbilder geben die Klemmen-Anordnungen des „Wewattmeters“ der Firma Gossen wieder, und zwar das linke Bild in Anwendung des Vorwiderstandes für Wechselstrom und das Bild rechts mit dem Universal-Vorwiderstand für Wechsel- und Drehstrom. Für die Verbindungen ist unbedingt zu beachten, daß eine der beiden Wechselstrom-Zuleitungen (R oder T) an die linke Stromklemme k des Gerätes gelegt und dann über die Klemme l weiter zu dem Verbrauchsapparat geführt wird, dessen Verbrauch gemessen werden soll, und daß sodann von der Klemme k , aber nicht von der Klemme l eine Spannungsleitung zu der Klemme U des Vorwiderstandes gelegt wird. Eine zweite Spannungsleitung wird dann noch an diejenige V -Klemme gelegt, die gemäß ihrer Bezeichnung der zu messenden Netzspannung entspricht.

Nur diese Schaltung ergibt bei kleinen Meßbereichen genaue Werte. Würde man nämlich die Klemme U mit der Stromklemme l verbinden, so würde sich zu dem Meßwert der ganze Verlust addieren, der in den hochohmigen Widerständen des Spannungspfadcs des Gerätes entsteht. Dieser ist oft größer als der Verbrauch kleiner Apparate, wie es beispielsweise Synchronuhren sind, so daß das Meßergebnis vollkommen verfälscht würde. In der richtigen Schaltung nach Abbildung 73 ergibt sich dagegen nur eine sehr geringe Fälschung des Meßergebnisses durch den unwesentlichen Verbrauch der Stromspule, auf die nachstehend noch eindeutig eingegangen ist.

Sowohl jeder Strom-Meßbereich wie auch die Spannungsbereiche des Gerätes können um 20 Prozent dauernd überlastet werden. Die Höhe der anzulegenden Spannung ist ja in fast allen Fällen bekannt, so daß die Wahl des jeweiligen Spannungsbereiches sich von selbst ergibt. Würde man ausnahmsweise eine ungewöhnliche Spannung von beispielsweise 150 Volt anzulegen haben, so wäre es des größeren Zeigerausschlages wegen besser, die Überlastungsfähigkeit des kleineren Spannungspfadcs auszunutzen und die Spannung an die V -Klemme für 125 Volt anstatt an 250 Volt zu legen. Bei Leistungsmessungen muß man aber immer ungefähr die von dem Apparat verbrauchte Stromstärke kennen, um ein Gerät mit einem entsprechenden Strom-Meßbereich zu verwenden. Ist der Strom-Meßbereich erheblich zu groß für den Verbrauch, so ergibt sich ein sehr geringer Zeigerausschlag, der oft nicht genau abgelesen werden kann; ist dagegen der Strom-Meßbereich zu klein gewählt, so läuft man Gefahr, die Stromspule durchzubrennen. Für die Messung von Synchronuhren ist ein für die Spannungen 110 und 220 Volt vorgesehener Vorwiderstand zu wählen und ein Strom-Meßbereich von 25 Milliampere (mA).

Die Instrumentkonstante ist ein vor jeder Leistungsmessung zu bestimmender Faktor, mit dem die von dem Instrument-

zeiger angezeigten Skalenteile zu multiplizieren sind, um die Angabe in Watt zu erhalten. Ist C diese Konstante, U der Spannungs-Meßbereich und I der Strom-Meßbereich des Geräts, und bezeichnet man mit S die Anzahl der Teilstriche auf der Skala, so ergibt sich $C = \frac{U \times I}{S}$, wobei U in Volt und I in Ampere einzusetzen ist.

Haben wir beispielsweise ein Wattmeter mit einem Spannungs-Meßbereich von 250 Volt und einem Strom-Meßbereich von 25 mA, und hat die Skala 50 Teilstriche, so hat das Instrument eine Konstante von $C = \frac{250 \times 0,025}{50} = 0,125$. Schlägt dann, angenommen, bei einer Messung der Zeiger auf den Skalenteil 32 aus, so ergibt sich ein Meßwert von $32 \times 0,125 = 4,0$ Watt.

An Hand dieser Erklärungen und der dem Instrument beigegebenen Gebrauchsanweisung wird jeder Fachmann richtig durchgeführte Leistungsmessungen vornehmen können.

Die Genauigkeit der Leistungsmessung — Der Eigenverbrauch des Meßgerätes

Es ist bekannt, daß in Technikerkreisen die Ergebnisse von Leistungsmessungen kleiner Größenordnungen oft angezweifelt werden mit dem Hinweis, daß der Eigenverbrauch des Gerätes groß sei und daher die Messung stark fälsche. Dementsprechend soll hier als Beispiel der Eigenverbrauch des Wewattmeters von Gossen bestimmt werden.

Bei der vorgeschriebenen Schaltung nach Abbildung 73 ist der Verbrauch der Stromspule von dem Meßwert abzuziehen, weil die Spannung vor der Stromspule abgenommen wird, so daß der hinter ihr liegende Verbraucher eine Spannung zugeführt erhält, die um den Spannungsabfall in der Stromspule zu klein ist. Dieser Spannungsabfall muß in Watt umgerechnet werden, um berücksichtigt werden zu können.

Der Eigenverbrauch eines Wattmeters ist veränderlich; er ist um so höher, je stärker die Phasenverschiebung des Verbrauchsgeräts ist, dessen Wirkverbrauch gemessen wird. Denn durch die Wattmeterstromspule fließt nicht nur der Wirkstrom, sondern auch der wattlose, der Blindstrom, der mit wachsender Größe den Spannungsabfall der Stromspule erhöht. Sobald das Wattmeter durch das Verbrauchsgerät induktiv belastet ist, dieses also Spulen mit Eisen enthält, kann die Stromstärke nicht aus dem Wattverbrauch errechnet werden, sondern sie ist mittels eines Amperemeters zu bestimmen.

Nehmen wir für unsere Betrachtung folgendes als gegeben an:

1. Ein „Wewattmeter“ mit einem Meßbereich von 250 Volt und 10 mA; es hat 50 Skalenteile. Dieses Gerät arbeitet mit einem „Empfindlichkeitsfaktor“ von 0,8; Widerstand der Stromspule = 200 Ohm.

2. Ein Wechselstrom-Milliamperemeter „Wepemeter“, Meßbereich 0 bis 25 mA, Widerstand 40 Ohm.

3. Das Milliamperemeter wird in Reihe mit der Stromspule des Wattmeters angeschlossen; ein Voltmeter liegt an den Klemmen „U“ und „V 250“ des Wattmeters.

4. Die Messung einer Synchronuhr ergebe
- 28,8 Teilstriche Ausschlag am Wattmeter,
 - das Milliamperemeter zeige 8,9 mA an,
 - das Voltmeter 220 Volt.

Die Wattmeterkonstante ist $C = \frac{250 \times 0,01 \times 0,8}{50} = 0,04$. Somit ist der Wattverbrauch der Uhr $28,8 \times 0,04 = 1,152$ Watt.

Da die (Scheinverbrauchs-) Stromstärke zu 8,9 mA gemessen wurde, der Widerstand der Wattmeter-Stromspule 200 Ohm beträgt und nach dem „Jouleschen Gesetz“* der in Wärme umgesetzte Verlust gleich $I^2 R$ ist, so wird der Verlust in dieser Stromspule $(0,0089)^2 \times 200 = 0,0158$ Watt und in der Spule des Milliamperemeters $(0,0089)^2 \times 40 = 0,0032$ Watt.

Die Messung des Wirkverbrauchs wird mithin verfälscht durch das Wattmeter um $\frac{0,0158 \times 100}{1,152} = 1,37\%$ und durch beide Instrumente um $\frac{(0,0158 + 0,0032)}{1,152} = 1,6\%$.

Da das Wattmeter mit einer um den Abfall der beiden Stromspulen geringeren Spannung gemessen hat, so sind die errechneten Verluste von dem Meßwert abzuziehen.

Unser Beispiel behandelt eine Messung, der eine hohe Phasenverschiebung von $\cos \varphi = \frac{1,152}{0,0089 \times 220} = 0,59$ zugrunde liegt, bei der nur ein Wattmeter-Eigenverlust von 1,37 % entsteht. Ist dieser schon praktisch zu vernachlässigen, so wird er noch um so geringer, je weniger Spannung und Strom des Verbrauchsgerätes zueinander phasenverschoben sind.

Aus jeder gemessenen Scheinleistung und Wirkleistung läßt sich die im Verbraucher bestehende Phasenverschiebung wie auch die verbrauchte Blindleistung bestimmen. Die Phasenverschiebung errechnet sich zu $\cos \varphi = \frac{\text{Wirkleistung}}{\text{Scheinleistung}}$.

Hat man beispielsweise mittels Volt- und Amperemeter einen Verbrauch von 1,5 VA gemessen und mit dem Wattmeter einen solchen von 0,9 Watt, so ergibt sich die Phasenverschiebung zu $\cos \varphi = \frac{0,9 \text{ Watt}}{1,5 \text{ VA}} = 0,6$.

*) Vgl. auch Kesseldorfer, „Grundbegriffe der Elektrotechnik“.

Nach der trigonometrischen Tabelle entspricht dem Wert $\cos \varphi = 0,6$ ein Winkel von rund 53 Grad, dessen Sinuswert nach gleicher Tabelle gleich rund 0,8 ist. Da nun die Blindleistung sich zu „Scheinleistung $\times \sin \varphi$ “ berechnet, so ergibt sich für unser Beispiel Blindleistung = $1,5 \times 0,8 = 1,2$ Voltampere.

Die Praxis des Fachmannes erfordert an sich nur die Messung der Wirkleistung, weil diese als zahlungspflichtiger Verbrauch den Kunden allein interessiert. Wenn vorstehend auch Begriff und Bestimmung weiterer Wechselstromgrößen behandelt worden sind, so ist damit der Versuch gemacht, besonders die junge Fachwelt in das Wesen des Wechselstromes näher einzuführen. Daß solche Kenntnisse nicht etwa nutzlos sind, wollen wir nochmals kurz an der Bedeutung der Blindleistung für die Beurteilung der Qualität einer Synchronuhr herausstellen.

Es wurde vorstehend ausgeführt, daß der Blindstrom die Magnetisierungsarbeit für das Magnetsystem eines Wechselstrom-Apparates leistet. Diese Magnetisierungsarbeit wächst an mit dem zunehmenden Widerstand des magnetischen Kreises, besonders also durch Einschaltung von mehreren oder größeren Luftspalten in dem von dem Magnetismus durchflossenen Eisenweg. Dieses Anwachsen der Magnetisierungsarbeit und damit des Blindstromes erklärt sich logischerweise schon daraus, daß ein bestimmtes Maß von Magnetisierung, eine gewisse Höhe des durch sie gebildeten mechanischen „Drehmomentes“ erforderlich wird, um beispielsweise den Rotor eines Motors zum Laufen zu bringen, und daß für diese Magnetisierung eine um so größere Energie aufzubringen ist, je größer der Widerstand des Kraftlinienweges ist.

Nun gibt es Synchronuhren mit engen und mit weiten Luftspalten zwischen den Stator- und Rotorzähnen, mit mangelhaft und mit gut eingepaßten Blechen. Um nach dieser Richtung die Herstellung und somit die Qualität einer Uhr eindeutig festzustellen, braucht man nur ihre Wirk- und Scheinleistung zu messen, um hieraus die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung und schließlich die Blindleistung rechnerisch zu ermitteln. Mit aller Bestimmtheit wird sich stets ergeben, daß die Uhr mit der geringsten Phasenverschiebung (Wert „ $\cos \varphi$ “ möglichst nahe an eins liegend) und mit dem kleinsten Blindverbrauch immer eine sorgfältige Herstellung ihrer magnetischen Teile zur Voraussetzung haben muß und daher auch ihre Spule mit wenig Blindstrom belastet ist.

13. Prüfung auf Betriebssicherheit

Der einfache Aufbau der Synchronuhr könnte zu der Ansicht führen, daß eine Prüfung auf Betriebssicherheit sich in kurzer Zeit erledigen ließe. Das ist nicht der Fall. Wohl wird der Uhrmacher sehr schnell erkennen, ob das **L a u f w e r k** gut oder mangelhaft ausgeführt ist, ob die Eingriffe, Zapfen und Zapfenlöcher in Ordnung sind, ob die Platinen und das übrige Material eine genügende Stärke haben. Die beiden besonders beanspruchten Teile jedoch, die Spule und der Rotor mit seiner Lagerung, lassen sich nicht immer in kurzer Zeit auf ihre Betriebssicherheit prüfen.

Eine vorläufige Prüfung der Spule führt man durch, indem die Uhr einige Tage an die normale Spannung gelegt wird. Sie darf dabei nicht mehr als handwarm werden. Dann ist zu empfehlen, die Uhr an eine höhere Spannung anzuschließen, also eine für 110 Volt gewickelte an 190, und eine für 220 Volt an 380 Volt. Die Spannungen 190 und 380 sind die zu den „Sternspannungen“ gehörigen „Dreieckspannungen“*, mit denen die Motoren mittels des Dreileiteranschlusses in Drehstromnetzen betrieben werden. Wenn die Spulen der Uhren gut gewickelt sind und ihre Drahtstärke richtig bemessen ist, so halten sie die höhere Spannung aus, ohne daß die Isolation zerstört wird. Der Beweis ist unter Hinweis auf die Uhren von Michl und Schild S. A. zu erbringen: Beide Fabrikate arbeiten mit nur einer Wicklung für den Bereich von 110 bis 220 Volt. Stehen die Dreieckspannungen nicht zur Verfügung, weil kein Drehstromanschluß greifbar ist, so ist ein kleiner Radio-Netztransformator für diese Spannungen leicht beschaffl.

Ohne Anwendung besonderer Mittel gestaltet sich dagegen die Prüfung der Rotorlagerung sehr zeitraubend. Jede Schnellprüfung muß darauf hinauslaufen, die Drehzahl des Rotors zu erhöhen, um aus dem erhöhten Verschleiß der Lagerungen auf eine längere oder kürzere Betriebsdauer schließen zu können. Handelt es sich darum, die Muster verschiedener Fabrikate zu prüfen, um von dem Ausfall der Prüfungen den Vertrieb abhängig zu machen, so wird es sich bestimmt lohnen, in jedes Muster einen besonderen Rotor mit halber Zahn- oder Polzahl einzusetzen. Dadurch erhöht sich die Dreh-

*) Die „Sternspannung“ eines Drehstromnetzes ist diejenige Spannung, die zwischen einer der drei Phasenleitungen und dem Nulleiter herrscht, die „Dreieckspannung“ dagegen ist die zwischen zwei Phasenleitungen bestehende Spannung.

zahl auf das Doppelte und der Verschleiß der Lagerungen auch. Zu dem Zweck bestellt man sich von der Fabrik einen Ersatzrotor und feilt aus ihm die Hälfte der Zähne fort. Dieser Rotor wird sich meistens mit der normalen Anwerfvorrichtung nicht anwerfen lassen; man treibt dann mit der Hand das zweite Übersetzungsrad an. Bei normaler Rotordrehzahl benötigt man dagegen ein rundes Jahr, um auf die Betriebssicherheit der Lagerung einwandfrei schließen zu können.

Mehrfache Anfragen in Fachzeitzungen haben ein unerklärliches Stehenbleiben von Synchronuhren zum Gegenstand. Es muß diesbezüglich erstens darauf hingewiesen werden, daß keine Synchronuhr mit Anwerfmotor das ruckweise schnelle Bewegen aus einer Lage in eine andere verträgt. Der Rotor mit Schwungscheibe ist im Verhältnis zu dem kleinen Drehmoment viel zu schwer, um bei plötzlich einsetzenden Gegenkräften im Tritt bleiben zu können; hierauf sollte der Fachmann den Käufer hinweisen. Zweitens sind Synchronuhren auf den Markt gekommen, die regelmäßig stehenbleiben, wenn man sie auf den Rücken legt oder sie auch nur schräg nach hinten hält. Hier liegt ein abzustellender Mangel vor, der aus einer stark erhöhten Reibung des hinteren Lagers in der Rückenlage abzuleiten ist.

Schließlich ist die Synchronuhr, und besonders die Schlagwerkuhr, noch auf ihre Spannungsabhängigkeit zu prüfen. Jede Uhr muß mit einer um rund 20 % kleineren Spannung noch sicher arbeiten. Man benötigt für diese Prüfung einen Transformator, der die reduzierten Spannungen verfügbar macht, besonders für die Hauptspannungen 110 und 220 Volt. Mit diesen Minderspannungen sollen die Uhren noch sicher gehen, so daß sie auf eine im langsamen Tempo durchgeführte Lagenveränderung nicht mit Stehenbleiben reagieren.

Die umsichtige Prüfung auf Betriebssicherheit verlangt die Anwendung eines kleinen Transformators in der Größe eines Radio-Netztransformers für kleine Geräte, mit den abgreifbaren Spannungen 90, 110, 175, 190, 220 und 380 Volt.

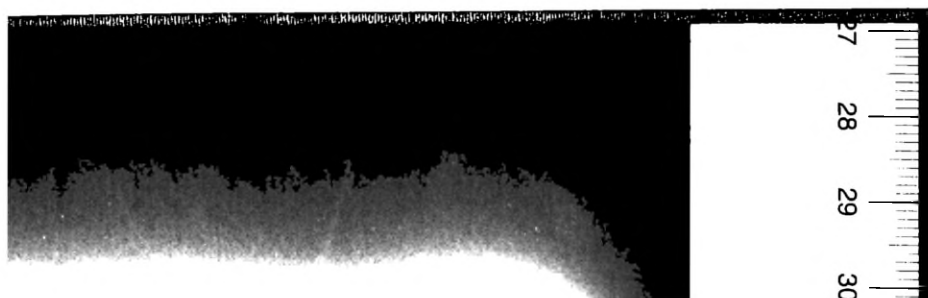
14. Prüfung auf Frequenzhaltung

Die in Abschnitt 9 verzeichneten Elektrizitätswerke liefern frequenz-regulierten Wechselstrom, wie er für den Betrieb von Synchronuhren erforderlich ist. Da nun nach den Ausführungen des Abschnittes 3 die handgesteuerte Regulierung noch stark im Gebrauch ist, so ist es nicht nur zweckmäßig, sondern erforderlich, die Frequenzhaltung des Lieferwerkes zu kontrollieren. Der Synchronuhren verkaufende Fachmann muß sich durch eigene genaue und laufende Kontrollen mit Niederschrift der Ergebnisse von dem Genauigkeitsgrad der Frequenzhaltung seines Lieferwerkes überzeugen.

Die Prüfung der Frequenzhaltung sollte nicht durch Vergleich mit der eigenen Normaluhr, sondern mit einem funkentelegraphischen Zeitzeichen erfolgen, weil dadurch Irrtümer ausgeschaltet werden. Seitdem die Deutsche Seewarte außer dem über Nauen verbreiteten großen Zeitzeichen täglich mehrmals das Kurzzeichen gibt, welches um 7, 11, 15, 19 und 23 Uhr von dem Reichssender Hamburg, um 7, 12, 18 und 23 Uhr von dem Deutschlandsender ausgestrahlt wird, bieten sich in Anwendung billiger Empfangsgeräte Kontrollmöglichkeiten einfacher Art.

Das Kurzzeichen beginnt mit 11 Punkten als Vorzeichen, die von der 30. bis zur 40. Sekunde vor der vollen Stunde gegeben werden. Nach einer Pause von 5 Sekunden ertönen dann sechs Punktzeichen als Hauptsignal bei den Sekunden 45, 50, 55, 58, 59 und 0. Man braucht also nur nach der Fünfsekundenpause die nachkommenden sechs Punkte zu zählen, um mit dem letzten die sekundengenaue volle Stunde zu haben und sie mit der Synchronuhr zu vergleichen. Macht man diese Standbeobachtung morgens um 7, mittags um 12 und abends um 19 Uhr, so wird man aus dem Gang der Uhr sehr bald erkennen, mit welcher Genauigkeit und auch zu welchen Zeiten die Frequenzregulierung durchgeführt wird.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Belastungszunahme den Werken die Frequenzhaltung erschwert. Da die Jahres-Spitzenbelastung in die Monate Dezember und Januar fällt, so ist die Durchführung der Kontrolle in diesen Monaten besonders empfehlenswert.



15. Vorführung mittels Gleichstrom

Es gibt in Deutschland noch eine Anzahl von Großstädten (beispielsweise Berlin, Hamburg, München, Würzburg), deren Mittenteile nicht mit Drehstrom, sondern noch mit Gleichstrom beliefert werden. Ferner bestehen in vielen Kleinstädten Gleichstromwerke, die entweder noch Eigenerzeugung betreiben, oder die den bezogenen Drehstrom umformen. In allen diesen Fällen sind die für den Verkauf von Synchronuhren interessierten Fachgeschäfte nicht ohne weiteres in der Lage, den mit Dreh- und Wechselstrom belieferten Bewohnern der umliegenden Stadt- oder Landbezirke die Synchronuhr vorzuführen. Diesen Geschäften kann die Vorführung durch die Beschaffung eines kleinen Gleichstrom-Wechselstrom-Umformers ermöglicht werden, wie er beispielsweise in billiger Ausführung von der Firma „Verkehrsschutz“ und Apparatebau G. m. b. H. in Frankfurt a. M., Westerbachstr. 46/48, hergestellt wird.

Der Umformer kann natürlicherweise nicht dazu benutzt werden, um die im Schaufenster ausgestellten Synchronuhren dauernd anzutreiben, weil der Umformer die Frequenz ungenau abgibt. Er ist aber durchaus geeignet, den Kunden im Laden die Geh-, Schlag- und Weckeruhren mit Synchronmotor-Antrieb im Betriebe vorzuführen, also den mit Gleichstrom belieferten Fachgeschäften den Verkauf der Synchronuhr erheblich zu erleichtern.

Gerade die Inhaber solcher Geschäfte, die noch in Gleichstrombezirken ansässig sind, müssen sich jedoch genau über die Genauigkeit der Frequenzregulierung in den übrigen, mit Wechselstrom gespeisten Stadtbezirken vergewissern, damit sie ihren Kunden richtig Aufklärung über die Leistung der Synchronuhren geben können; auf die Prospekte der Hersteller allein darf man sich dabei nicht verlassen. Die Synchronuhr verlangt eben eine individuelle Behandlung beim Verkauf und der Kundenberatung.

16. Die Reparatur der Synchronuhren

a) Der Motor

Die an selbstanlaufenden Kleinst-Synchronmotoren vorkommenden Reparaturen werden zweckmäßig durch die herstellende Fabrik erledigt werden.

Der Anwerfmotor dagegen ist an sich eine außerordentlich einfache Vorrichtung. Die Rotor- und Statorzähne sind dem Verschleiß nicht ausgesetzt, ebensowenig das Trieb. Somit beschränkt sich die Reparatur auf die Rotorlagerung, die allerdings der allergrößten Sorgfalt bedarf, weil von ihr zum größten Teil die Geräuschlosigkeit des Laufs abhängig ist. Ein ausgelaufenes Rotorlager muß daher bestens repariert werden. Die mittels zweier Zapfen gelagerten Rotoren laufen meistens bereits in Novotext-Scheiben, die sehr widerstandsfähig gegen Auslaufen sind. Sind sie oder die Zapfen aber doch ausgelaufen, so daß die Scheiben erneuert werden müssen, so ist es, da Ersatzteile solcher Scheiben bisher nicht im Furniturrenhandel vorrätig und Novotext in kleinen Mengen nicht abgegeben wird, am besten, den Motor in die Fabrik zur Reparatur einzusenden, die auch über besondere Werkzeuge für dieses Material verfügt. Die Novotextscheiben werden durch eine schwache Vernietung in den Lagervertiefungen befestigt. Die Zapfenden des Rotors erfordern im übrigen eine gute Politur.

Rotoren mit Stiftlager haben eine sehr lange Führung; sie werden daher nicht leicht auslaufen. Eine Reparatur erfordert das Ausbohren mit einem halbrunden, polierten Löffelbohrer, der um wenige hundertstel Millimeter größer ist als die alte Bohrung. Sodann muß ein neuer, gehärteter und polierter Lagerstift hergestellt werden, der in die Bohrung sorgfältig eingepaßt wird.

Es ist zu bedenken, daß nur eine gut passende Lagerung des Rotors den geräuschlosen Lauf sichert.

b) Das Laufwerk

Im Abschnitt 5 b) ist ausgeführt worden, daß das Laufwerk einer Synchronuhr, sofern es sich um kleine Zifferblattdurchmesser handelt, sehr wenig beansprucht wird, und daß die Genauigkeit der Zeitmessung nicht von dem Laufwerk abhängig ist. Somit kommt dem Laufwerk nicht die Bedeutung zu, welche die Übersetzungsräder einer mechanischen Uhr haben. Der Uhrmacher hat also bei der Instandsetzung dafür Sorge zu tragen, daß keine Klemmungen bestehen, und daß die Zapfen der Räder

in Ordnung sind. Räderwerksanordnungen, in denen Messing auf Messing sich dreht, sind entsprechend durch Zwischenlagen aus Stahlscheibchen zu verbessern. Im übrigen wird noch die übliche Reinigung und das Ölen vorzunehmen sein.

c) Die Spule

Die Spulendrähte bestehen aus sehr dünnem Lackdraht, der für 220 Volt die Stärke von 0,04 bis 0,05 mm, für 110 Volt von 0,05 bis 0,06 mm hat. Solche dünnen Drähte können nur auf besonderen Wickelmaschinen und durch geübte Wicklerinnen verarbeitet werden. Auch das Anlöten der Anschlußenden erfordert besondere Fertigkeit. Es ist daher anzuraten, eine unterbrochene oder durchgebrannte Spule der Fabrik zum Ersatz einzusenden; auch im Furniturenhandel werden heute bereits Ersatzspulen verschiedener Fabrikate geführt.

d) Das Ölen

Die Laufwerke aller Synchronuhren werden mit dem üblichen Wanduhröl geölt. Das gleiche Öl verwendet man für die Rotor-Stiftlagerung. Dieses Lager muß sehr gut eingepaßt sein, so daß ein dickeres Öl stark hemmend auf den Rotorlauf einwirkt.

Dagegen verlangt die Lagerung der Rotorzapfen in Novotextscheibchen ein im Handel erhältliches besonderes dickflüssiges „Synchronmotorenöl“ oder auch eine gute Vaseline. Es hat den Anschein, als ob das besondere Öl der Vaseline vorzuziehen ist, weil diese in der Kälte so dick zu werden pflegt, daß sie als fast fester Körper ihre Schmierungseigenschaft einbüßt.

Einige Synchronmotoren weisen einen roten Fleck als Kennmarke auf. Diese Motoren sind mit synthetischem Öl zu versehen. Dagegen darf synthetisches Öl niemals in Lagerstellen in zaponierten Platinen verwendet werden.

e) Sondervorrichtungen

Synchronwecker

Die bisher auf dem Markt befindlichen Synchronuhren mit elektrischer Weckvorrichtung sind mit einem Summeranker versehen, der im Rhythmus mit der Stromfrequenz schwingt und daher erheblich leiser arbeitet als die bekannte mechanische Weckvorrichtung.

Falls es den Wünschen des Kunden entspricht, das Weckgeräusch so laut wie möglich zu machen, kann man dies durch besondere Aufmerksamkeit im Einstellen des Summerankers erreichen. Die Feder des Ankers muß derartig gebogen werden, daß ein Ende des Ankers an einem Magnetpol anliegt und das andere Ende von dem zweiten Pol um einen bis zwei Zehntelmillimeter absteht. Man läßt die

Uhr wecken und biegt dann die Feder mehrere Male, bis ein Höchstwert an Geräusch entsteht.

Gangreserve-Synchronuhren

Die ältere Bauart der Gangreserve der AEG nach Abbildung 59 fand nicht auf Uhren, sondern nur auf Tarifzähler Anwendung. Ihre Reparatur bietet das Besondere, daß ein von der Stellung eines Schwingankers abhängiger Umschalthebel das Zeigerwerk bei Stromfluß mit der Synchronuhr und bei Stromunterbrechung mit der mechanischen Uhr verbinden muß.

Es muß somit dieser Hebel genau eingestellt sein, und zwar erstens auf die beiden Eingriffstiefen und zweitens auf die Schwingankerstellung.

Weiter muß die Schwingankerfeder so eingestellt sein, daß ihr Zug einerseits bei Stromunterbrechung den Anker zum Abfall bringt, und daß andererseits der Anker bei Stromrückkehr sicher angezogen wird. Ebenfalls darf die genaue Einstellung der Schubstange für den Anzug des mechanischen Werkes nicht versäumt werden.

Die Ma the - Gangreserve - Synchronuhr verlangt nach der Reparatur noch einer besonderen Beobachtung. Sie ist eng gebaut; also bedarf die Durchsicht des Werkes besonderer Aufmerksamkeit. Es ist damit zu rechnen, daß die Zugstangen 14 und 15 nach Abbildung 60 und 61 länglich auslaufen, und daß die Kurbelzapfen sich abnutzen werden, da erstens die Stange 14 sich mit einer ziemlich hohen Geschwindigkeit bewegt, zweitens die Stange 15 eine nicht unwesentliche Kraft überträgt und drittens beide Stangen nur 0,35 mm stark und ohne Buchse auf dem Kurbelzapfen drehbar sind. Die Löcher der Kurbelstangen müssen dann ausgerieben und die Zapfen bzw. Ansatzschrauben erneuert werden.

Eine ganz besondere Sorgfalt erfordert die Lagerung der Stange 14, da auch eine nur sehr geringe Seitenluft sich in einem Pendeln der Stange mit Rückergabel auswirkt, das die Uhr falsch gehen läßt, wenn sie als Gangreserve arbeitet. Die Feder 17 muß so eingestellt werden, daß ihr Zug kräftig genug ist, um das Aufzugsrad 16 bis zum vollen Aufzug der Zugfeder fortschalten zu können.

Nach dem Zusammensetzen muß die Uhr mindestens einige Tage mit Sekundengenauigkeit daraufhin beobachtet werden, ob die Kurbelstange 14 die Spiralfeder im Takte der Frequenz steuert. Der Synchronismus zwischen Frequenz und Unruh-Schwingungen tritt dann ein, wenn die Spiralfeder auf 270 minutliche Halbschwingungen abgesteckt ist. Diese Schwingungszahl darf ein Mehr oder Weniger von 15 Halbschwingungen nicht übersteigen, da andernfalls die Uhr aus dem Synchronismus fällt. Die auf 270 Schwingungen einregulierte Uhr verträgt Periodenschwankungen bis zu 4 Prozent nach unten und oben, ohne

ihre Frequenzabhängigkeit zu verlieren. Somit reichen die beiden Toleranzen weit über das praktische Bedürfnis hinaus.

Diese Probe auf genaue Spiralfederlänge macht man am zweckmäßigsten durch den Vergleich mit einer zweiten, auch mit Sekundenzeiger versehenen Synchronuhr. Zeigen beide Uhren über mehrere Tage sekundengenau gleiche Zeit, so geht die Gangreserve-Uhr im Synchronismus mit der Frequenz.

Dem Verkäufer dieser Synchronuhr mit Gangreserve sei recht empfohlen, jedem Käufer nahezu legen, die Uhr nach längstens zweijähriger Gangdauer zur Reparatur zu bringen, um dadurch zu verhüten, daß die Uhr bei Stromausfall erheblich falsch geht oder stehenbleibt. Wie im Teil 10 e) ausgeführt ist, läuft die Uhr bei Stromausfall mit halber Kraft. Sie ist somit im Reservelauf besonders empfindlich gegen Ölverdickung und Auslaufen der Körnerlagerungen. Es dürfte ferner empfehlenswert sein, daß die Fabrik in ihre Gebrauchsanweisung einen entsprechenden Hinweis aufnimmt.

f) Das Zusammensetzen

Jede Synchronuhr muß mit Sorgfalt zusammengesetzt werden; besonders ist auf den genauen Sitz und eine sehr feste Verschraubung der Stator- und Spulenbleche zu achten. Nacheinander beachte man folgende Punkte:

1. Ist der Rotor eingesetzt, so soll der Luftspalt zwischen den Stator- und den Rotorzähnen auf beiden Seiten gleich groß sein.

2. Die Rotorlagerung darf weder eine merkbare Seitenluft noch Höhenluft zeigen. Entweder sind die Deckschrauben der Rotorlager entsprechend einzustellen, oder die Höhenluft muß leicht abgefedert sein.

3. Die Schwungscheibe muß mit leichter Reibung so auf dem Rotor beweglich sein, daß sie noch rund $\frac{1}{4}$ Umdrehung weiterschwingt, wenn der umlaufende Rotor von Hand plötzlich angehalten wird.

4. Brummt oder klopft eine Uhr nach dem Zusammensetzen, so liegt manchmal ein Vibrieren der Statorbleche infolge mangelhafter Verschraubung vor; meistens ist aber ein Lagerfehler die Ursache. Schon ein in der Rotorlagerung verbliebenes kleines hartes Schmutzteilchen kann starkes Klopfen herbeiführen, ebenfalls eine zu nahe an dem Rotor gelagerte Schwungscheibe, die entweder zu schwach gefedert ist, oder die nicht flach ist, oder deren Bohrung zu weit ist. Durch einen dieser Fehler entsteht dann in bestimmter Werklage ein Anschlagen der Schwungscheibe an die Rotorscheibe.

Eine mit einwandfreien Lagerungen versehene Uhr läuft so geräuschlos, daß man an dem losen Werk nur bei größter Aufmerksamkeit noch ein leises Geräusch hört. Das Stiftlager ist leichter zum geräuschlosen Lauf zu bringen als ein Doppellager; auch ist es widerstandsfähiger.

Um ein sicheres Urteil über die Geräusche zu erhalten, wende man die alte Gewohnheit der Uhrmacher an, einen Wanduhrschraubenzieher auf eine Platinenkante zu setzen und das Heft an das Ohr zu legen. Dann soll ein gleichmäßiges Brummen ohne alle Nebengeräusche, und zwar in allen Werklagen, entstehen.

5. Der Anlauf der Uhr mit Hilfe der Anwerfvorrichtung erfolgt um so leichter und sicherer, je schwerer die Schwungscheibe ist, und je leichter sie sich auf ihrer Achse bzw. auf ihrer Unterlage dreht.

6. Bleibt die Uhr im Lauf stehen, so sind entweder Klemmungen des Rotors oder der Räder vorhanden, oder auch (der häufigste Fall) die Schwungscheibe hat eine zu starke Reibung auf ihrer Unterlage.

7. Das Drehmoment der Uhr kann man ohne unmittelbare Messung gefühlsmäßig in der Weise beurteilen, daß man den Zeigefinger vorsichtig an die Zähne des umlaufenden Rotors legt und dadurch die Kraft an den Zähnen abschätzt. Ebenso kommt man zu einer Beurteilung des Drehmomentes, wenn man den Rotor des unter Strom stehenden, aber ruhenden Motors mit dem Finger Zahn um Zahn langsam herumführt. Diese Bewegung Zahn um Zahn soll eine sprunghafte, scharf ausgeprägte sein; der Rotor muß sich möglichst scharf auf jede neue Stellung einstellen, und jede Einstellung soll von einem knackenden Geräusch begleitet sein, ähnlich so, wie wenn ein Sperrkegel in die Zähne eines Sperrades einschnappt. Je stärker das Geräusch ist, um so größer ist die Kraft an den Rotorzähnen und damit das Drehmoment.

8. Bei Uhren mit Weckvorrichtung ist der Summer gut einzustellen (vgl. auch Abschnitt e) „Sondervorrichtungen“). Die Einstellung wird um so schwieriger, je weniger der Summeranker federt. Ganz allgemein beachte man, daß das freie Ankerende in der Ruhelage nicht auf seinem Pol geradezu aufliegen soll, sondern daß es, eben sichtbar, frei schwebt. Es liegt ein Fabrikat vor, dessen Stator und Summeranker aus hartem Eisen besteht. Durch die diesem Eisen anhaftende starke Remanenz wird die mit jedem Stromwechsel erfolgende magnetische Umpolung erheblich zeitlich verzögert, so daß die Schwingungsamplitude des Ankers klein bleibt und das Weckgeräusch gering ist.

9. Die Mauthé-Uhr mit Gangreserve (vgl. auch Abschnitt e) „Sondervorrichtungen“) soll nicht mehr als $\frac{5}{8}$ Umgänge mit der Gangreserve allein schwingen, weil sie sonst unter Strom (mit Kurbelantrieb dazu) möglicherweise dauernd prellen würde. Das ist zwar unwesentlich in bezug auf die gesicherte Synchronisierung, aber das Prellgeräusch könnte störend wirken. Zu dem Zweck darf die lange Feder 17 (Abb. 61) nicht zu stark angespannt werden; die Scherenkupplung muß sich öffnen, wenn die Zugfeder ungefähr zu $\frac{3}{4}$ aufgezogen ist. Man zieht, wie angegeben, die Zugfeder von Hand bis zu $\frac{3}{4}$ auf, um dann bei abgeschaltetem Motor das Synchronlaufwerk von Hand zu drehen, wobei man be-

obachtet, ob sich dann die Schere öffnet, wie es sein soll. Bleibt sie geschlossen, so daß die Feder durch das Drehen der Räder noch weiter aufgezogen wird, so ist die Schraubenfeder 17 zu entspannen.

Das Verschrauben der Antriebskurbel 14 auf der vorstehenden Welle des Rades 2 kann ohne Beachtung der Kurbelstellung zu dem Spiralklötzchen erfolgen. Sofern die Schwingungszahl der Unruh durch richtiges Abstecken der Spiralfeder innerhalb der Synchronisierungsgrenze liegt (siehe Abschnitt 15 c), zwingt die überragende Energie des Kurbelantriebes die Unruh-Schwingungen in Phasengleichheit.

Vor der Inbetriebsetzung der Uhr ist nicht zu vergessen, die Zugfeder noch einmal von Hand ganz aufzuziehen.

.

17. Anschluß an Starkstrom und an Schwachstrom

Der Absatz von Synchronuhren wird in manchen Fällen durch vermeintlich oder wirklich bestehende Anschluß-Schwierigkeiten gestört werden. Die Synchronuhr ist ein ausgesprochener Starkstromapparat, mit dem man, wie der Ausdruck geprägt wurde, „die Zeit aus der Steckdose holt“.

Es ist nun allerdings fraglich, ob die Steckdose oder ein von einer Abzweigdose ausgehender fester Anschluß das Geeignete ist. Der gewissenhafte Fachmann wird dem festen Anschluß den Vorzug geben, um zu verhüten, daß bei Hausputzarbeiten der Stecker aus der Dose herausgezogen und dadurch die Uhr zum Stillstand gebracht wird, deren Wiedereinstellen auf genaueste Zeit stets eine besondere Arbeit darstellt. In vielen Fällen wird jedoch der Käufer einer Synchronuhr sich wegen der Kosten und noch mehr wegen der entstehenden Unsauberkeiten mit der Verlegung einer festen Abzweigleitung nicht einverstanden erklären.

Somit bleibt dann nur der Steckeranschluß übrig, und es wäre eine falsche Taktik, wollte sich der Fachmann dagegen sträuben. Er soll dann aber bestrebt sein, den Stecker in der Dose so schwergehend wie möglich zu machen, also die Steckerstifte an ihren Ausfräsungen kräftig auseinander biegen, wodurch den Putzfrauen das Herausziehen der Stecker erschwert wird. In manchen Fällen ist übrigens die einzige vorhandene Steckdose bereits durch Radio oder Bügeleisen besetzt. Hier hilft man sich durch Anwendung eines Zweifach- oder nötigenfalls Dreifachsteckers, dem man dann in der Dose auch einen möglichst festen Halt gibt.

In besonderen Fällen wird der Absatz einer Synchronuhr deshalb Schwierigkeiten bereiten, weil in dem für die Uhr vorgesehenen Zimmer keine Lichtleitung verlegt ist, oder weil die Installation eines erforderlich werdenden Steckdosen- oder festen Anschlusses abgelehnt wird. In solchen Fällen kann man sich dann noch helfen, wenn die Hausglocke, wie es immer mehr in Anwendung kommt, durch einen Klingeltransformator gespeist wird. Man verlegt dann von den Schwachstromklemmen „8 Volt“ oder „12 Volt“ dieses Transformators eine Schwachstromleitung bis an den Standort der Uhr und bestellt letztere in der Fabrik für diese Spannung. Allerdings muß geprüft werden, ob die Leistung des Klingeltransformators für die erhöhte Stromlieferung ausreicht. Ein Verbrauch von 1 Watt der Synchronuhr ergibt bei 12 Volt eine

Stromstärke von 0,08, bei 8 Volt von 0,13 Ampere. Sie muß auch dann geliefert werden, wenn die Hausglocken läuten. Die meisten Klingeltransformatoren sind für eine sekundäre Stromstärke von 0,5 Ampere bemessen. Im Bedarfsfalle muß ein solcher gegen einen größeren ausgetauscht werden, dessen Höchststromstärke bei 1 Ampere liegt.

Legt man eine Synchronuhr versehentlich an ein Gleichstromnetz, so wird ihre Wicklung augenblicklich verbrannt sein. Der Anschluß einer Uhr für 110 Volt an 220 Volt Wechselstrom oder umgekehrt ist dagegen weniger von Zerstörungerscheinungen begleitet. In vielen Fällen wird man gar nichts merken; die Uhr wird mit beiden Spannungen arbeiten, höchstens wird man die für 110 Volt bestimmte Uhr in einem Netz mit 220 Volt nicht anwerfen können. Ist jedoch die Uhr scharf auf eine der beiden Spannungen abgestimmt, so wird die für 110 Volt gewickelte Spule im Netz mit 220 Volt heiß werden und die für 220 Volt gewickelte Spule im Netz mit 110 Volt der Uhr keinen genügend kräftigen Magnetismus geben.

18. Gefahren des Starkstromes und Installationsbestimmungen

Die Versorgung mit elektrischem Strom ist für den Verbraucher dann gefahrloser als die mit Gas, wenn das Leitungsnetz gut gegen Erde isoliert, gegen unmittelbare Berührung geschützt und durch einwandfreie und richtig dimensionierte Sicherungen vor Überströmen bewahrt ist. Auf eine gute Leitungsanlage hat der Benutzer nur den Einfluß der willkürlichen Stromentnahme, während die Gasentnahme ihm eine stetige Vorsicht mit den Gashähnen auferlegt.

Mangelhafte Starkstromleitungen dagegen bringen dem Benutzer eine immerwährende Brandgefahr sowie die Möglichkeit schwerer körperlicher Verletzungen, Lähmungen und des „elektrischen Todes“.

Sind zwei Leitungen an irgendeiner Stelle so schlecht voneinander isoliert, daß zwischen ihnen ein schwacher Stromübergang stattfindet, so spricht man von einem „Nebenschluß“. Dieser Nebenschluß ist ein schleichender und dauernder, er bleibt meistens lange Zeit un bemerkt; denn die Sicherungen sprechen nicht an, weil die über die Fehlerstelle fließende Stromstärke klein ist. Aber die Fehlerstelle wird durch den Strom erwärmt und schließlich heiß. Liegen die Leitungen dann an brennbaren Gegenständen, so ist eines Tages der offene Brand da. Ist dagegen der Kontakt der beiden Leitungen an der Fehlerstelle ein guter, so spricht man von einem „Kurzschluß“, und es tritt sofort eine hohe Stromstärke auf, welche die vorgeschaltete Sicherung zum Abschmelzen bringt. Ein Kurzschluß ist daher viel weniger gefährlich als ein Nebenschluß.

Berührt ein Mensch oder ein Tier das freiliegende Metall einer unter Spannung stehenden Starkstromleitung, so erhält er einen „elektrischen Schlag“, der je nach den örtlichen Umständen und den Körpereigenschaften des Betroffenen sehr verschieden stark sein kann und daher auch die verschiedensten Folgen, nämlich von der einfachen Schreckempfindung über geringe oder starke Verbrennungen bis zum Tode, auslöst.

Die Größe der Lebensgefahr steigt mit der durch den Körper fließenden Stromstärke; nach neueren Forschungen wirkt eine Stromstärke von 0,10 Ampere bereits tödlich.

Nach dem Ohmschen Gesetz ist die Stromstärke abhängig von der Spannung und dem Widerstand des Stromkreises. Je höher also die Betriebsspannung des Netzes und je geringer der Widerstand des Körpers ist, um so höher wird die Stromstärke sein, die durch den Körper fließt. Nun ist der Widerstand des menschlichen Körpers ein sehr ungleicher Wert, da er ganz besonders von dem Hautwiderstand abhängig ist, der im feuchten Zustande einen sehr kleinen und im trockenen einen hohen Wert zeigt. Menschen mit Hand- und Fußschweiß sind daher durch den elektrischen Strom ganz besonders gefährdet, ebenso wie das Vieh in feuchten Stallungen, das erfahrungsgemäß schon durch eine Wechselspannung von 60 Volt getötet werden kann. Der elektrische Strom wirkt um so sicherer tödlich, je mehr er durch Gehirn und Herz seinen Weg nimmt. Ebenso ist der Wechselstrom infolge seines Richtungswechsels sehr viel gefährlicher als der Gleichstrom. Da es recht oft vorgekommen ist, daß durch Spannungen von 110 und 220 Volt Menschen getötet wurden, so ergibt sich hieraus die Tatsache, daß der Widerstand des menschlichen Körpers unter $110 : 0,10 = 1100$ Ohm liegen kann. Es bleibt also besonders festzustellen und zu berücksichtigen, daß nicht nur Hochspannungen, sondern alle Spannungen bis zu 100 Volt herunter lebensgefährlich sind.

Die besprochenen Gefahren der elektrischen Leitungsnetze haben schon die ältesten Elektrizitätswerke erkannt, und sie haben durch Erlassen von Vorschriften für die Errichtung von Starkstromanlagen die Umwelt zu schützen versucht. Dieser Schutz wurde durch die Gründung und die Arbeit des „Verbandes Deutscher Elektrotechniker“ (VDE) stark untermauert, und die von diesem Verband herausgegebenen VDE - „Vorschriften“, - „Regeln“, - „Normen“ und - „Leitsätze“ sind seit langen Jahren, ohne eigentliche Gesetzeskraft erlangt zu haben, von allen Behörden und den Feuerversicherungen anerkannt sowie richtunggebend.

Die Vorschriften der Elektrizitätswerke verbieten den nicht geprüften (nicht zugelassenen) Fachleuten das Installieren von Starkstromanlagen (Anlagen aller Art mit Betriebsspannungen über 60 Volt). Ein Reichsgerichtsurteil aus dem Jahre 1912 erkennt ausdrücklich das Recht der Elektrizitätswerke an, derartige Bestimmungen aufstellen zu können. Die Spitzenorganisation der Elektrizitätswerke hat dann zusammen mit dem Elektrohandwerk Zulassungsgrundsätze aufgestellt, die von dem Reichswirtschaftsministerium als verbindlich anerkannt worden sind.

Somit darf heute niemand mehr selbständig Starkstromanlagen installieren, der nicht die Meisterprüfung im Elektro-Installationsgewerbe bestanden hat. Durch Nichtfachleute erstellte Anlagen können durch das Elektrizitätswerk ohne weiteres stromlos gemacht und von der

Strombelieferung ausgeschlossen werden. Außerdem kann der Auftraggeber sich an dem nicht zugelassenen Ersteller der Anlage schadlos halten.

Es ist selbstverständlich gestattet, in einer Hausanlage die Verteilungs-Sicherungen herauszunehmen, um dann an vorhandene Leitungen Apparate, beispielsweise elektrische Uhren, anzuschließen.

19. Sonstige Anwendungsarten des Synchronmotors als Zeitregler

Der Kleinst-Synchronmotor hat mehr als eine Verwendungsmöglichkeit gefunden. Sein zeitgleicher Lauf wird nicht nur für „Zeituhren“, wie die Elektrotechniker die Synchronuhren nennen, sondern auch für Schaltuhren, Kurzzeitmesser, Zeitzähler, Mehrfachtarifzähler und Registriergeräte, letztgenannte bei verschiedenen Meßgeräten für Gas, Wasser und Elektrizität, Luftdruck, Feuchtigkeit, chemische Messungen usw., ausgenutzt. Die Abbildung 74 zeigt

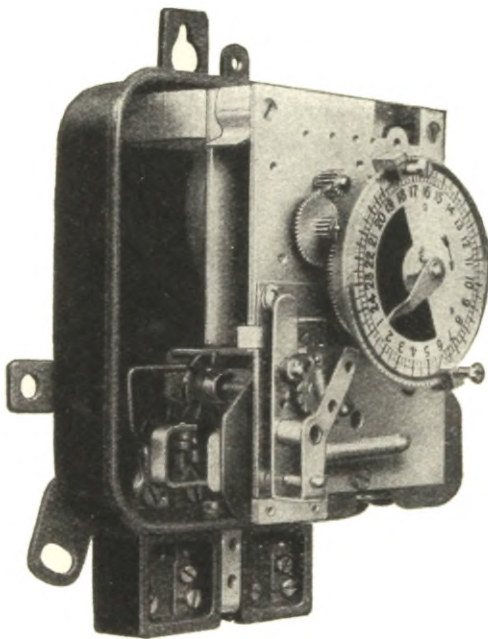


Abb. 74.
AEG-Schaltuhr mit Synchronmotor-Antrieb

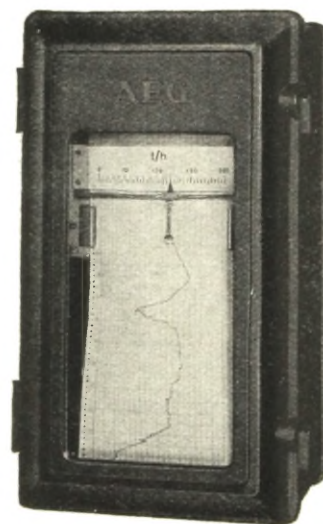


Abb. 75. AEG-Registriergerät
mit Synchronmotor-Antrieb

eine Schaltuhr, die Abbildung 75 ein Registriergerät der AEG, die beide durch einen Synchronmotor angetrieben werden. Hierdurch ergibt sich eine erhebliche Vereinfachung der Geräte, da für ihren Betrieb bisher kräftige mechanische Werke mit langer Gang- oder Laufdauer benutzt werden mußten, deren regelmäßiger Lauf entweder zu wünschen übrig ließ oder durch teure Handarbeit in der Herstellung erreicht werden mußte. In manchen Fällen ist der Kraftbedarf dieser elektrischen Uhren

und Meßgeräte nicht gering, so daß der kleine, für Zimmeruhren verwendete Synchronmotor durch einen kräftigeren ersetzt werden muß, dessen Verbrauch bis zu 4,5 Watt ansteigt. Solche größeren Motoren werden auch für den Antrieb von Uhren mit großen Zifferblättern sowie für selbsttätige Turmuhren-Aufzüge verwendet.

Auch in der *Astronomie* werden neuerdings an Stelle von Uhrwerken Synchronmotoren zur Bewegung von parallaktisch montierten Fernrohren verwendet.

Allgemein betrachtet, wird der *Selbstanläufer* als Ersatz für Laufwerke aller Art, bei Tarifschaltern und Schaltuhren verwendet, während der billigere Anwerfmotor stärker in Zeituhren zur Anwendung kommt.

III. Der Uhrenbetrieb mittels tonfrequenter Wechselströme

Das Wesen der tonfrequenten Wechselströme

Die Schwingungslehre unterscheidet „tonfrequente“ und „hochfrequente“ Schwingungen. Tonfrequent sind die dem normalen menschlichen Ohre vernehmbaren Schwingungen; sie liegen innerhalb der Grenzen von 30 bis 10 000 Hertz, während höhere Schwingungen als „hochfrequente“ bezeichnet werden.

Elektrische Schwingungen können wir nur durch eine Umformung in akustische (mittels des Telephons und Lautsprechers) wahrnehmen. Eine elektrische Schwingung entsteht, wenn ein aus einer Selbstinduktion (Spule) und einer Kapazität (Kondensator), die in Serie oder parallel zueinander liegen können, bestehender Schwingungskreis „angestoßen“, das heißt an eine Spannung gelegt wird. Dadurch wird der Kondensator geladen, und nach Entfernung der Stromquelle entsteht eine „gedämpfte Schwingung“, indem der Ladestrom über die Selbstinduktion hin- und herschwingt, bis er durch die Verlustwirkung im Stromkreise verbraucht ist und die Schwingung somit allmählich „abklingt“. Eine solche Schwingung hat eine ganz bestimmte „Wellenlänge“.

*) Die Wellenlänge λ berechnet sich nach der Formel:

$$\lambda = \frac{2\pi}{100} \sqrt{CL},$$

in welcher λ die Länge der Welle in m, C die Kapazität und L die Selbstinduktion, beide in cm, sind. Da

$$\frac{2\pi}{100} = 0,0628 \text{ konst.}$$

ist, so kann man schreiben:

$$\lambda = 0,0628 \sqrt{CL}.$$

Hieraus wird

$$C = \frac{\left(\frac{\lambda}{0,0628}\right)^2}{L},$$

und

$$L = \frac{\left(\frac{\lambda}{0,0628}\right)^2}{C}.$$

Jeder Wellenlänge entspricht eine bestimmte Frequenz des im Schwingungskreise fließenden Wechselstromes, und je höher die Frequenz wird, je mehr steigert sich die Fähigkeit der Schwingungen, von einem Leiter (Antenne) aus in den freien Raum überzutreten. Man spricht daher von leitungsgerichteten Wechselströmen und von Hochfrequenzschwingungen.

Da die elektrischen Schwingungen oder Wellen sich (wie auch das Licht) mit einer Geschwindigkeit von 300 000 000 Meter in der Sekunde ausbreiten, so ergibt sich die Wellenlänge zu $\lambda = \frac{300\,000\,000}{f}$, wenn λ die Länge der Welle in m und f die Frequenz in Hertz ist; $f = \frac{300\,000\,000}{\lambda}$ Hertz.

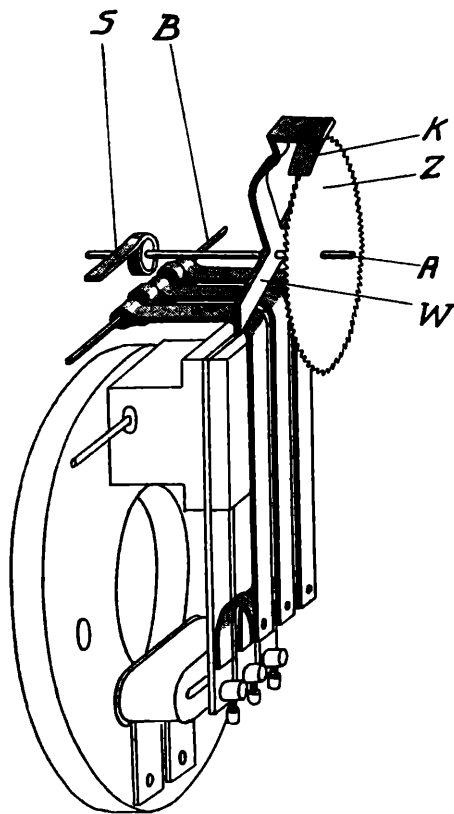
Diese kurzen Angaben erscheinen deswegen zweckentsprechend, weil die Technik der elektrischen Uhren bereits durch mehrere Erfindungen in die Hochfrequenztechnik übergreift.

Das Tel-System

Diplom-Ingenieur O. Muck in München hat vor mehreren Jahren ein System entwickelt, um über bestehende Leitungsnetze (Starkstrom- und Bahnleitungen) mittels tonfrequenter Wechselströme von 300 bis 600 Hertz, die den Betriebsstrom überlagern, Schaltapparate aller Art betreiben und Kommandos geben zu können. Die wirtschaftliche Auswertung dieses von dem Erfinder „Tel-System“ benannten Prinzips ist bisher von der Siemens & Halske A. G., die Besitzerin der Tel-Patente ist, zurückgestellt worden. Das Tel-System arbeitet folgendermaßen:

Eine „Tel-Dynamo“ gibt jede Minute für etwa vierzig Sekunden einen Wechselstrom an eine Anzahl von in der Zentrale untergebrachten „Frequenz-Wählern“ ab, wobei die Maschine infolge Drehzahlregelung jedesmal das Frequenzband 300 bis 600 Hertz durchläuft. Diese Wähler sind jeder auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt. Die Wahlfrequenzen zusammen bilden eine geometrische Reihe*. Die Wähler sprechen somit der Reihe nach auf ihre Frequenz an und legen dadurch, meist unter Zwischenschaltung von Schaltern, die Tel-Energie von bestimmter Frequenz auf einige Sekunden an das Netz. Die Überlagerung erfolgt unter Anwendung von besonderen Tel-Transformatoren möglichst über den Nulleiter, da dieser wenig belastet ist und somit die Sekundär-

*) Eine „geometrische Reihe“ entsteht dadurch, daß eine gegebene Größe (das Anfangsglied) mit den zahlenmäßig von Null ansteigenden Potenzen einer zweiten gegebenen Größe (dem Quotienten) multipliziert wird. Wie beispielsweise, wenn das Anfangsglied = 2, der Quotient = 3 ist, und die Reihe 4 Glieder hat: $2 \cdot 3 + 2 \cdot 3^2 + 2 \cdot 3^3 + 2 \cdot 3^4$.



**Abb. 76. Tel-Resonanzrelais mit Fortschalt-
hebel und Klinke für das Uhrzeigerwerk**

seite des Tel-Transformators nur leicht vormagnetisiert wird. Muß über einen Hauptleiter überlagert werden, so kommen besondere Schienenwandler mit regelbarem Luftspalt in Anwendung, damit die Tel-Magnetisierung gegenüber der Vormagnetisierung am günstigsten Punkte arbeitet. Die überlagerte Telspannung beträgt 4 Volt; bei einer Maschinenspannung der Tel-Dynamo von 100 bis 160 Volt erhalten daher die Tel-Transformatoren ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 33.

Die Telströme verbreiten sich über das ganze Netz; in Wechselstromnetzen werden sie von den normalen Transformatoren mittransformiert, wobei natürlich wegen der hohen Frequenzen auch hohe Eisenverluste entstehen, und jeder Verbrauchsapparat ist ebenso ein Telstrom-Verbraucher, besonders die Lampen, da sie keine Gegen-EMK erzeugen. Es wird für je 1000 kW installierter Netzleistung in 220-Volt-Netzen 1 kW

Tel-Leistung, in 110-Volt-Netzen 2 kW Tel-Leistung als genügende Überlagerungsenergie angegeben unter der Voraussetzung, daß die Anzahl der angeschlossenen Tel-Apparate gleich der Anzahl der installierten Zähler sei.

An den Verbrauchsorten wird den Tel-Schaltern und -Uhren (vgl. Abb. 76), die mit besonderen, auf eine bestimmte Frequenz abgestimmten „Resonanzrelais“ und Fortschaltorganen ausgestattet sind, die Tel-Energie über einen Blockkondensator von 1 bzw. 2 Mikrofara (μ F) zugeführt. Die Abriegelung gegen den Netzstrom durch diesen Kondensator ist bei Gleichstrom eine vollkommene, bei Wechselstrom natürlich nicht, doch ist der Verluststrom gering.

IV. Der drahtlose Uhrenbetrieb durch hochfrequente Wechselströme

In den Jahren 1907 bis 1909 hat die Stadt Wien bereits eine von Prof. **R e i t h o f f e r** und Uhrmacher **M o r a w e t z** erbaute Uhrenanlage besessen, deren Hauptuhr minutlich eine Energie von $110 \text{ Volt} \times 15 \text{ Am-pere}$ über eine Antenne ausstrahlen ließ, um dadurch in fünfzig auf die Stadt verteilten Unterstationen je ein elektrisches Pendel steuern zu lassen, das zum Antrieb von Gleichstrom-Nebenuhren innerhalb seines Versorgungsgebietes diente. Diese von vielen Zukunftshoffnungen begleitete Anlage mußte wieder abgebaut werden.

Das Schneider-System

Im Büro des Ingenieurs **F. S c h n e i d e r** in Fulda habe ich erstmalig im Jahre 1911 eine von ihm konstruierte kleine Uhrenanlage gesehen, deren Nebenuhren von der Hauptuhr drahtlos betrieben wurden. Schneider hat seinen Erfindungsgedanken stetig ausgebaut und war bestrebt, eine Sendestation zu errichten, um das minutliche Einstellen von selbständigen Uhren, besonders also von Hauptuhren für örtliche Zentralanlagen, über ganz Deutschland ausbreiten zu können. Es sind vor einiger Zeit verschiedene Artikel in Fachschriften und Tageszeitungen über „die drahtlose Zeitzentrale“ erschienen, die zwar zum Teil unklar und unvollständig sind, aus denen aber die nachfolgende Systembeschreibung zusammengestellt ist.

Ein Maschinen - S e n d e r nach dem System Dr. D o r n i n g wird über eine Relaiskette von einer astronomischen Hauptuhr derartig gesteuert, daß mit höchster Präzision am Schluß jeder Minute aus einer Schirmantenne eine genau abgestimmte Welle für die Dauer von ungefähr 1 Sekunde ausgestrahlt wird. Das gesamte Aggregat ist bis auf die Antenne doppelt vorhanden zu dem Zweck, daß der zweite Satz die gleiche Welle genau eine Sekunde später sendet als der erste. Die Reichweite dieses Doppelsenders soll sich über das ganze Reich erstrecken.

In jeder Stadt werden soviel E m p f a n g s u h r e n erforderlich, wie selbständige Uhrenanlagen mit einem eigenen Leitungsnetz drahtlos reguliert bzw. gesteuert werden sollen. Jede Empfangsuhr besteht aus einem G e h w e r k mit A n k e r - H e m m u n g, einem durch Motor angetriebenen Synchronisationslaufwerk, einem Fritter besonderer Kon-

struktion (von dem Erfinder „Ionisator“ genannt) zur Aufnahme der minutlichen Synchronisierwelle und Einleitung des Synchronisationsvorganges, einer Vorrichtung zur Abstimmung auf die Empfangswelle, mehreren Funkenlöschröhren eigener Schneiderscher Konstruktion zur Unterdrückung von Störwellen durch Selbstinduktionsfunken in der Empfangsuhr und einem Stromwechselkontakt zum Betriebe von normalen Nebenuhren.

Der Synchronisierungsvorgang regelt sich folgendermaßen: Alle Empfangsuhren sind auf Voreilungen reguliert. In der sechzigsten Sekunde einer jeden Minute (der Bruchteil der Sekunde ist nicht angegeben; er ist übrigens abhängig von dem Grad der Voreilung zur wahren Zeit) stellt sich die Empfangsuhr selbsttätig still und öffnet zugleich den Empfangsstromkreis. In dieser ruhenden Empfangsstellung muß die Empfangsuhr solange stehenbleiben, bis sie durch eine abgestimmte Welle wieder in Gang gesetzt wird. Die Welle macht den Ionisator leitend, der dann als Kontaktorgan einer Strombahn wirkt; dadurch wird ein Elektromagnet erregt, dessen Anker die Unruh der Uhr freigibt. Zugleich wird der Stromwechselkontakt zum Antrieb der Nebenuhren betätigt und der Empfangsstromkreis verriegelt. Dieser ist also nur für einen Teil der sechzigsten Sekunde jeder Minute zur Aufnahme der synchronisierenden Hochfrequenzwelle geöffnet.

Störungsmöglichkeiten

Bleibt nun infolge irgendeines technischen Mangels in der Sendestation die erste Welle aus, so folgt nach einer Sekunde eine zweite, die von dem Reservesatz regelmäßig gegeben wird. In diesem Falle werden dann die Empfangsuhren eine Sekunde länger in Ruhe bleiben, dann von der zweiten Welle ausgelöst werden und mit einer Nacheilung von genau einer Sekunde weitergehen. Nach Behebung der Störung des ersten Sendersatzes wird dann der zweiten Hauptuhr eine Voreilung gegeben, wodurch die Empfangsuhren allmählich wieder in den zeitlichen Bereich der Welle des ersten Satzes kommen, womit die Störung endgültig behoben ist.

Mit dieser Einrichtung will der Erfinder alle Störungsmöglichkeiten besonders des hochfrequenztechnischen Teiles ausgeschaltet haben. Man kann darüber verschiedener Meinung sein; ein Irrtum ist jedenfalls die von ihm vertretene Ansicht, daß die Störwellen sich entweder zu der Regelwelle addieren oder früher bzw. später eintreffen. Das Gegenteil der Addition, die Subtraktion, wird sich als Folge der bekanntlich im Sommer sehr reichlich eintretenden atmosphärischen Störungen durch Auslösung der Regelwellen erheblich bemerkbar machen, und zwar um so stärker, je größer die Entfernung der Empfangsuhr vom

Sender ist. Radiotechnisch gilt nur die Nahzone jedes Senders als vollkommen empfangssicher. Wie weit dies für den Schneiderschen Fritter zutrifft, kann vorerst nicht beurteilt werden, da dessen Empfindlichkeit nicht bekannt ist. Dem öffentlichen Interesse wäre damit gedient, wenn durch anerkannte Wissenschaftler entsprechende technische Daten festgelegt und veröffentlicht würden. Vorläufig muß man daran festhalten, daß durch ein Ausbleiben der Regelwellen alle Nebenuhren stehen bleiben, und daß dieses durch Störwellen mögliche Ausbleiben sich auf die einzelnen Ländergebiete verschieden auswirken muß. So kann man sich vorstellen, daß die Uhren einer Stadt ordnungsmäßig weitergehen, dagegen die einer anderen Stadt alle versagen können.

Wirtschaftliche Bedürfnisfrage

Dr.-Ing. Baltzer hat die Frage aufgeworfen*: „Besteht die Notwendigkeit, zugunsten einer billigeren Ausführung der Empfangsuhren eine minutliche Regulierung herbeizuführen, oder genügt es, bei besserer Ausführung der Hauptuhren eine einmalige Regulierung am Tage herbeizuführen?“ Den Grund zu dieser Kernfrage gibt die Angabe Schneiders, daß seine Empfangsuhren sich billiger stellen als die bekannten Hauptuhren billigster Ausführung.

Die eigene Erfahrung hat jeden Uhrmacher gelehrt, daß es unter allen Umständen gelingt, eine beliebige Wanduhr aus der normalen Schwarzwälder Fabrikation auf eine tägliche Höchstabweichung von fünfzehn Sekunden oder acht Minuten monatlich zu bringen. Wird diese Abweichung täglich berichtigt, so ist allen Bedürfnissen des öffentlichen Lebens genügt. Bei normalen Hauptuhren bekannter Ausführung bleibt die tägliche Abweichung jedoch bestimmt innerhalb fünf Sekunden. Für den bürgerlichen Bedarf ist daher die zu beanspruchende Präzision der Zeitverteilung durch eine tägliche — und auch weniger als tägliche — Einstellung mehr als erreicht.

Man darf nicht vergessen, daß die Einheitlichkeit der Zeitverteilung über ganze Länder nur die Eisenbahnbehörden interessiert, während die Interessen der Allgemeinheit, von dem Reiz der Neuheit abgesehen, über die örtliche Zeitverteilung nicht hinausgehen.

Das System von Schneider ist bisher nicht zur praktischen Anwendung gekommen.

*) Deutsche Uhrmacher-Zeitung Nr. 44, Jahrgang 1929.

V. Die drahtlose Einstellung der Uhren durch drahtlose Zeitzeichen

Entgegen dem Gedanken, durch einen besonderen Sender auf drahtlosem Wege Hauptuhren zu steuern, ist es ebenfalls gelungen, die Rundfunk-Zeitsignale für die Uhren-Regulierung heranzuziehen. Die erste Einrichtung dieser Art wurde von der Firma Gebrüder Junghans A.-G. veröffentlicht.

Junghans-System

Diese Einrichtung benutzt die Koinzidenzzeichen des von der Deutschen Seewarte gegebenen, von dem Nauener Großsender und dem Deutschlandsender ausgestrahlten „Onogo“-Zeitsignals. Das Koinzidenz-Signal wird in der Zeit von 1^h 1^m 59^s bis 1^h 6^m 52^s in Zwischen-

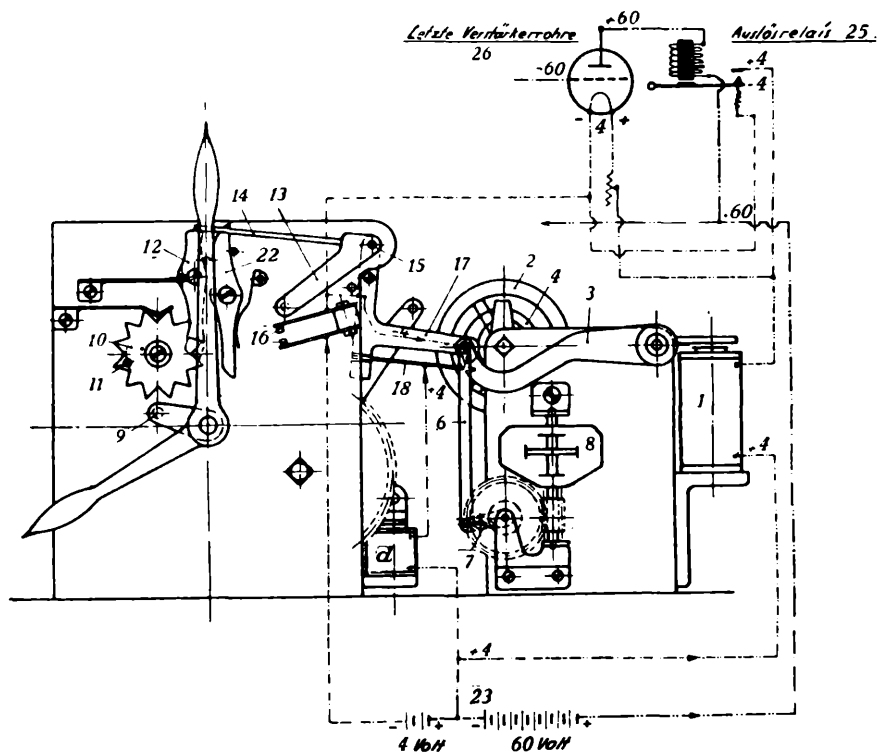


Abb. 77. Junghans-Hauptuhr mit Zeigerstellung durch drahtlose Koinzidenz-Zeitzeichen, Vorderansicht

Die drahtlosen Empfangszeichen werden in dem Gerät derartig verstärkt, daß ein an Stelle des Lautsprechers angeschlossenes Relais einen Elektromagnet 1 der Uhr betätigt, so daß dessen Anker im Rhythmus der Zeichengebung schwingt, mithin alle 0,977 Sekunden einmal angezogen wird. Dieser Elektromagnetanker arbeitet auf einen Hebel 3, dessen äußeres Ende mit der Spiralfeder 4 einer Unruh 2 verbunden ist, so daß die Unruh „angestoßen“ wird und in Schwingungen gerät. Da nun die Spiralfederlänge so abgepaßt ist, daß die Unruh in 0,977 Sekunden eine Halbschwingung macht, so wird sie durch die zeitengleichen Anzüge des Elektromagnetankers, also durch die zwischen Kontaktgabe und Schwingungen eintretende Resonanz, zu starken Amplituden aufgeschaukelt. Sobald eine gewisse Größe der Amplituden erreicht ist, macht die Unruh bei jeder zweiten Halbschwingung Kontakt mit dem Hebel 18. Durch die wiederholten Kontaktschlüsse zwischen Unruh und Hebel 18 wird erstens das Zeigerwerk der Hauptuhr zu dem Zeitzeichen genau richtiggestellt; zweitens wird das Empfangsgerät bzw. dessen Strom abgeschaltet, und drittens wird die Kontakt- und Zeigerstellvorrichtung in ihre Bereitschaftstellung zurückgeführt. Falls ansatzweise der drahtlose

Empfang ausbleibt oder zu schwach kommt, schaltet das Zeigerwerk das Empfangsgerät nach kurzer Zeit von der Uhr wieder ab.

Die außerordentlich kurzen Stromstöße der Koinzidenzzeichen genügen nicht, um die Unruh zu genügend großen Amplituden aufzuschaukeln. Dementsprechend ist der Rücklauf des Elektromagnetankers und des mit ihm gekuppelten Hebels 3 durch eine aus dem Arm 6, dem Rad 7 und dem Windflügel 8 bestehende Dämpfvorrichtung verzögert worden.

Diese Hauptuhr ist mit elektrischem Selbstaufzug und mit dem üblichen Stromwechselkontakt zum Betriebe von polarisierten Nebenuhren versehen; die durch die Zeitzeichen eingeleitete Einstellung der Zeiger erfolgt durch die Kraft der Zugfeder.

Ato-Radiola-System

Eine zweite drahtlose Einstellungsart, die allgemein für Haus- und Zimmeruhren gedacht ist, hat der Erfinder der „Ato-Uhr“ (in Deutschland von der Gebrüder Junghans A.-G. hergestellt), Ingenieur Marius Lavet, angegeben, die allerdings besonders auf seine Ato-Uhren zugeschnitten ist.

Das Lavet'sche „Ato - Radiola“ - System beruht nicht auf der Anwendung von bestehenden drahtlosen Zeitzeichen, sondern Lavet will die Rundfunkgesellschaften veranlassen, nach Möglichkeit zu stündlich festgelegten Minuten zwischen den Konzerten

musikalisch - rhythmische Signale von der Dauer einiger Sekunden zu geben. Diese Signale werden nach Abbildung 79 durch ein normales Mikrophon A aufgenommen, das wie ein Lautsprecher an ein Rundfunkempfangsgerät angeschlossen und auf dessen Membran ein Kontaktplättchen B angebracht ist, auf dem mit

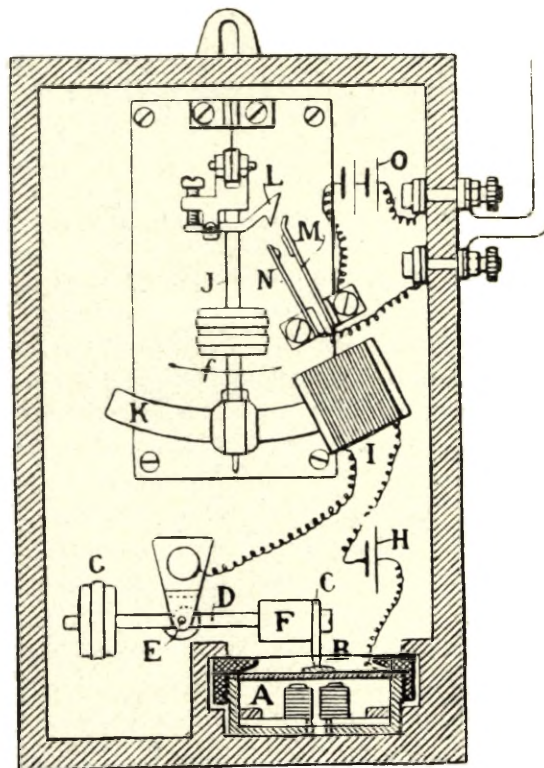


Abb. 79. Ato-Radiola-Pendelrelais mit Einstellung durch rhythmische Rundfunksignale

leichtem Druck ein Kontaktstift *C* aufliegt. Dieser Stift ist an dem einen Ende eines fast ausbalancierten, um den Punkt *E* drehbaren Waagebalkens *D* befestigt.

Wird nun die Membran des Mikrophons *A* durch Rundfunkwellen erregt, so fängt der Stift *C* an zu tanzen; sein Druck auf die Membran wird bis zu einem geringen Bruchteil aufgehoben. In dem Stromkreise des Elementes *H* liegt der Kontakt *B—C*, der Waagebalken *D* und die Spule (das Solenoid) *I*. Dieser Stromkreis ist dauernd geschlossen; er wird nur dann geöffnet bzw. die Stromstärke wird sehr klein, wenn die Membran durch drahtlose Stromstöße in Schwingungen gerät.

In das Solenoid *I* hängt das rechte Ende des Pendelmagneten *K* hinein, so daß das Pendel im Ruhezustande leicht nach rechts gezogen wird. Tritt jedoch Stromunterbrechung am Kontakt *B—C* infolge einer Zeichenübertragung ein, so fällt das Pendel in seine vertikale Lage zurück; es kommt in kleine Schwingungen. Wird nun durch rhythmische drahtlose Zeichenwiederholung das Mikrophon *A* in der Weise erregt, daß die Pausen zwischen zwei Zeichen sich zeitlich mit einer Halbschwingung des Pendels *J* decken, so tritt Resonanz zwischen Erregung und Halbschwingung ein, und das Pendel wird zu starken Amplituden hochgeschaukelt. Somit muß die Eigenschwingungszahl des Pendels auf die Signalfolge zeitlich abgestimmt sein.

Hat dann die Pendelamplitude eine bestimmte Größe angenommen, so legt sich die Nase der Schaltklinke *L* hinter die Kontaktfeder *M*, die bei Umkehr der Pendelschwingung mitgenommen wird und dann die Feder *N* berührt. Dann fließt aus der Batterie *O* ein Strom zu den im Hause befindlichen Uhren, deren Zeiger damit auf genaue Zeit eingestellt werden, wie das in den Abbildungen 80 und 81 dargestellt ist. Nach Abbildung 80 ist sowohl die Sekundenwelle *B* wie auch die Minutenwelle *C* in ihrem Rade drehbar gelagert, während auf *B* die Kurvenscheibe *K* und auf *C* die Kurvenscheibe *L* fest aufgebracht ist.

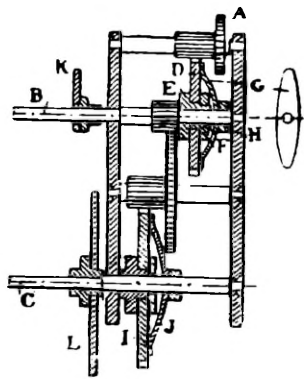


Abb. 80.

Anordnung der Korrekturvorrichtung in der Pendeluhr

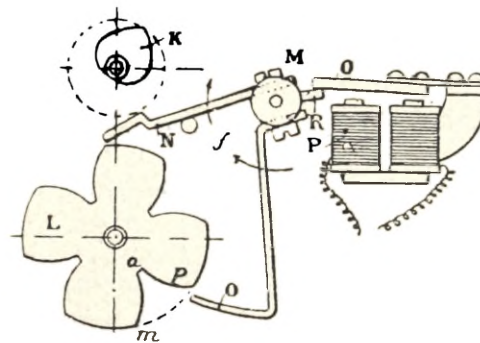


Abb. 81.

Der Elektromagnet *P* (vgl. Abb. 81) der einzustellenden Uhren liegt im Stromkreise der Batterie *O*. Wird dieser Elektromagnet erregt, so drückt sein Anker *O* auf die Nase *R* des Einstellhebels *M*, so daß dessen Arm *N* die Kurvenscheibe *K* und der Arm *O* die Scheibe *L* in eine bestimmte Lage und damit den Sekunden- und Minutenzeiger in bekannter Weise auf richtige Zeit einstellt.

Je nach dem Grad der Erregung des Mikrophones *A* und dem Spannungszustand des Elementes *H* wird eine kleinere oder größere Anzahl von drahtlosen Zeichen erforderlich werden, bis das Pendel *J* des Pendelrelais so stark aufgeschaukelt ist, daß die Klinke *L* den Kontakt *M—N* schließt. Das System ist somit nicht geeignet, um eine völlig sekunden-genaue Einstellung der abhängigen Uhren zu gewährleisten.

Der Mikrophonkontakt arbeitet mit einem außerordentlich geringen Druck, der seine Betriebssicherheit sehr wohl in Frage stellen kann.

Es besteht die Möglichkeit, daß eine Zufallsreihe von Stromstößen aus den normalen Rundfunkdarbietungen mit ähnlichen Frequenzen arbeitet wie die besonderen Zeitzeichen. Damit wäre dann eine Falscheinrichtung der Uhren ermöglicht.

Bei dem besprochenen Reguliersystem wird der reine Schwachstrom- bzw. Elementbetrieb der Ato-Uhren verlassen, weil das Element *H* durch den ihm entnommenen Dauerstrom bald erschöpft sein wird und es daher durch Starkstrom oder einen Akkumulator ersetzt werden muß.

Siemens-Hauptuhr mit drahtloser Einstellung

Eine dritte Vorrichtung zum Einstellen von Hauptuhren durch das Onogo-Zeitzeichen wird von der Siemens & Halske A.-G. geliefert.

Das Onogo-Signal besteht aus je einem Vor-, Haupt- und Schlußsignal; das Vorsignal endigt mit einem Fünfsekundenstrich, der von 12^h 56^m 55^s bis 12^h 57^m 0^s gegeben wird. Der Stromstoß dieses Einzelzeichens wird für die Regulierung der Siemens-Hauptuhr benutzt.

Als Empfangsgerät dient ein besonderer Dreiröhren-Empfänger, dessen Empfangskreis unverstellbar mit der Nauener Welle von 18 130 m in Resonanz bleibt. Die Einstellvorrichtung der Uhr besteht hauptsächlich aus sechs Relais, zwei Kontakt- und einer Schaltscheibe, wie dies aus der Abbildung 82 hervorgeht. Die senkrechte gestrichelte Linie in der linken Hälfte des Schaltbildes trennt das links dargestellte Empfangsgerät von der rechts sichtbaren Schalt- und Einstellvorrichtung der Hauptuhr.

Die Kontaktscheibe *KS1* wird von der Uhr in vierundzwanzig Stunden einmal herumgedreht, während die Einstellscheibe *R* sowie die Kontaktscheibe *KS2* auf der Sekundenradachse angebracht sind.

Die Scheibe *KS1* schließt um 12^h 54^m 35^s über den Federkontakt *K¹* und den Stromkreis 1 den Heizstromkreis *H*, wodurch zugleich die ge-

drückt in bekannter Weise die auf der Sekundenwelle sitzende Herzscheibe *R* in eine festgelegte Stellung hinein, so daß der Sekundenzeiger und mit ihm auch der Minutenzeiger genau die Zeit 12^h 57^m 0^s zeigt, weil ja in diesem Zeitpunkte der Stift *ES* auf die Herzscheibe drückt.

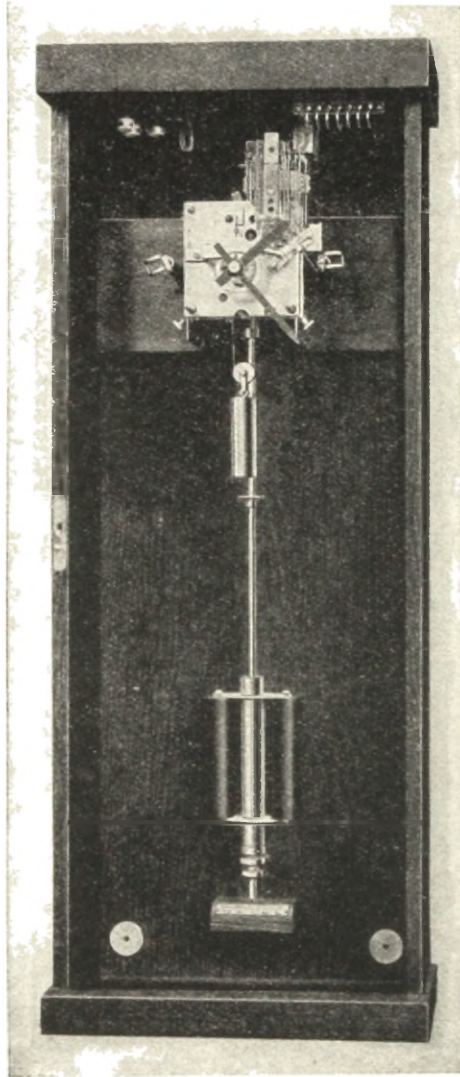


Abb. 83.
Siemens-Hauptuhr mit selbsttätiger Einstellung durch das Onogo - Zeitsignal

Durch das Einstellen der Herzscheibe *R* wird auch die Kontaktscheibe *KS2* in ihre Normalstellung gedreht, weil sie mit *R* auf der Sekundenwelle befestigt ist. In dieser Normalstellung ist der Kontakt *K⁴* geöffnet, wodurch das *E*-Relais stromlos wird und seinen Kontakt *e^{II}* öffnet, so daß auch das Relais *B* abfällt. Nun fällt ebenso das Verzögerungsrelais *C* ab, wodurch dann auch der Abfall des *A*-Relais bedingt ist. Wenig später öffnen sich dann die beiden Kontakte *K¹* und *K²* von *KS1*, wodurch die Antenne wieder geerdet und der Transformator *T* abgeschaltet wird. Hierdurch ist der Ruhezustand der ganzen Einrichtung wieder erreicht.

Sollte die Hauptuhr bei Beginn des Zeitzeichens genau richtig gehen, so wird die mittlere Feder von *KS2* in der Einbuchtung *B* der Scheibe stehen, so daß dann anstatt des Kontaktes *K⁴* der Kontakt *K⁵* geschlossen sein wird. Dann kann das im Stromkreis 6 liegende Relais *E* nicht ansprechen, und die Einstellvorrichtung *R* bleibt außer Betrieb.

Das Empfangsgerät wird nur für die Welle 18 130 m, also nicht zur Verwendung für die Aufnahme des vom Deutschlandsender gegebenen Zeichens geliefert. Um zu-

fällige Störungen des Empfanges zu vermeiden, wird das Gerät auf das Nachtzeichen, also um 1 Uhr, eingestellt.

Die Abbildung 83 zeigt die mit der selbsttätigen drahtlosen Regulierung versehene Siemens-Hauptuhr.

VI. Die Zeitverteilung durch Bildübertragung

Die neueste Idee, deren Erfinder Fr. Beermann in München ist, will die materielle Uhr überhaupt entbehrlich machen; an ihre Stelle tritt — ein Bild; das Schlagwerk wird durch den Lautsprecher ersetzt. Es handelt sich um eine besondere Auswertung der kommenden drahtlosen Bildübertragung.

Man denke sich einen besonderen Großsender, dessen alleinige Aufgabe darin besteht, ununterbrochen das „bildschöne“ Zifferblatt einer genau gehenden Uhr abzutasten und zu übertragen. Eine vielleicht wirtschaftlich vorteilhaftere Abwandlung dieses Gedankens wäre die Aufstellung einer solchen Uhr und eines kleinen Senders in jeder Großstadt mit Überlagerung über die Lichtnetze. Die Bildfunk-Empfangsapparate würde man dann in eine den Zimmeruhren ähnliche Form bringen und sie an die Wand hängen. Unter Verwendung eines Schalters, der den Apparat nach Wunsch auf die Antenne oder auf eine Steckdose zu schalten geeignet ist, würde man in der Lage sein, entweder die abendlichen Bildfunkdarbietungen oder das Zifferblatt der Uhr auf der Scheibe des Apparates erscheinen zu lassen. Mit dieser „Fernseuhr“ unter Verwendung eines Lautsprechers noch das Abhören der Stundenschläge zu verbinden, ist nur eine Wiederholung längst bekannter Einrichtungen. Da die modernen Empfangsgeräte ohne Anwendung von Batterien arbeiten, so spielen die Kosten für einen Dauerempfang keine große Rolle.

Hier hätten wir gleich die „einheitliche Zeitverteilung über ganze Länder“, aber mit dem Vorteil gegenüber anderen Systemen, daß eine Störung sich nur für die Zeit ihres Bestehens auswirkt, als solche eindeutig und sofort erkannt wird und keine Nachwirkungen auf die spätere Zeitangabe haben kann. Auch sind Reparaturen der Nebenuhren ausgeschlossen.

Die Patente sind angemeldet; vom Ausgang des Patentverfahrens wird wohl die Verwertung der Idee in erster Linie abhängig sein, in zweiter Linie wohl auch von der Stellungnahme der Postbehörde, schließlich auch von dem Zeitpunkt, wann Fernsehempfänger überhaupt für das Publikum preislich tragbar sind.

VII. Die Quarzuhr

Wer in den ersten Jahren des Radioempfangs sich als Bastler betätigte, wird noch wissen, wie damals die verschiedenen Sender von einem Tage zum andern „falsch auf der Skala saßen“; viele von ihnen hielten ihre Wellenlänge recht ungenügend ein. Die Ursache war der Mangel eines selbsttätigen Steuerapparates für die Wellenlänge bzw. die Frequenz, der erst behoben wurde nach der Entdeckung, daß ein bestimmter Stein, der Quarz, im elektrischen Feld zu Schwingungen angeregt wird, deren Frequenz bei 60 000 Hertz liegt, und deren Regelmäßigkeit von einer fast unvorstellbaren Konstanz ist, so daß beispielsweise die Pendelschwingungen einer astronomischen Uhr ihnen gegenüber als unregelmäßige bezeichnet werden müssen. Sobald die Sender dann „quarzgesteuert“ waren, arbeiteten sie mit hoher Konstanz auf der ihnen zugewiesenen Welle.

Zwei Mitarbeiter der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Dr. Scheibe und Dr. Adelsberger, haben die unfäßbar hohe Frequenzkonstanz des Quarzes zum Bau von Quarzuhren ausgenutzt und mit ihnen Gangergebnisse erzielt, die eine Kontrolle der Umdrehungsgeschwindigkeit unserer Mutter Erde gestatten.

So unabhängig die Frequenzkonstanz des Quarzes von allen sonstigen Einflüssen ist, so abhängig ist sie von der Wärme. Daher muß ein Steuerquarz in stets gleicher Temperatur arbeiten, zu welchem Zweck er in einen Thermostaten eingebaut ist, der für die Quarzuhr mit einem kleinen Hochfrequenzsender und einem Verstärker zusammen in einem zweiten Thermostaten arbeitet. Unter Anwendung eines Quecksilber-Kontaktthermometers wird die den Steuerquarz umgebende Temperatur von 36 Grad auf 0,001 Grad konstant erhalten.

Von dem Verstärker fließt der Wechselstrom von 60 000 Perioden nacheinander zu drei Frequenzwandler, die eine stufenweise Frequenzerniedrigung von 60 000 auf 10 000, von 10 000 auf 1000 und von 1000 auf 333 Hertz vornehmen. Die Apparate bestehen aus rückgekoppelten Radio-Senderöhren mit je einem Gitter- und Anodenschwingungskreis. Der Gitterkreis führt die hohe Frequenz; im abgeglichenen Anodenkreis entsteht dann die reduzierte Frequenz. Der im Anodenkreis der letzten Röhre fließende Wechselstrom von 333 Hertz ist nun geeignet, ganz normale Synchronmotoren anzutreiben, deren Laufwerk dann mit der hohen Konstanz der Quarzschwingungen

die Sekunde, Minute und Stunde anzeigt. Die Abbildung 84 gibt ein schematisches Bild von dem stufenweisen Aufbau der Quarzuhren.

Die Prüfungen der jetzt im Besitz der Ph. T. R. und des Geodätischen Instituts Potsdam befindlichen sechs Quarzuhren haben derartig genaue Gangergebnisse gebracht, daß beispielsweise die Uhr III der Ph. T. R. in der Zeit vom 1. Januar 1934 bis 31. Dezember 1934 eine Standänderung von nur 1,3 Sekunden und eine Gangänderung von 0,0073 Sekunden erfuhr. An allen Uhren ergab sich außerdem sehr überraschend in der Zeit vom 15. Juni bis 15. Juli 1934 ein gleichmäßiger Anstieg von

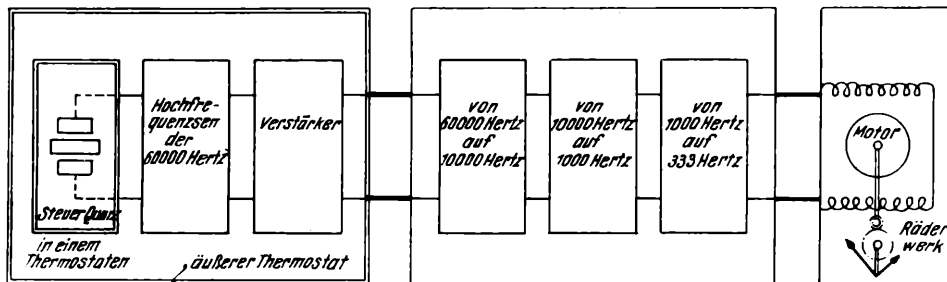


Abb. 84. Quarzuhr, schematische Darstellung

0.004 Sekunden, während die Differenzwerte der Uhren unter sich nur wenige Zehntausendstel Sekunden betragen. Hieraus muß gefolgert werden, daß die Drehbewegung der Erde nicht absolut regelmäßig ist, wie das von Astronomen längst vermutet wurde, aber nicht nachweisbar war. Die astronomische Tageslänge ist daher kein absoluter Wert.

Die Quarzuhr ist weitaus die beste Uhr der Welt. Natürlicherweise kann sie nur ein Laboratoriumsgerät sein, das mit seinen vielen Hilfsvorrichtungen und seiner Wartungsbedürftigkeit aus den Händen des Wissenschaftlers nicht herauskommen darf. Sie befreit aber die Sternwarten von Witterungseinflüssen, die oft wochenlang die Zeitaufnahme verhindern, und sie ist ein wundervolles Instrument für die Korrektur und Verbesserung der Zeitsignale.

VIII. Die Synchronuhr von heute und morgen

Welche ungeahnte Entwicklung die Synchronuhr innerhalb eines Jahrzehnts durchlaufen hat, zeigt am deutlichsten die *P a t e n t l i t e r a - t u r*. Ungezählte Patente und Gebrauchsmuster schützen Einrichtungen an Synchron-Kleinmotoren und an Uhren mit Anwerfmotoren. So gibt es sogar ein Patent, welches das „Ticken“ der mechanischen Uhr als besondere Einrichtung der Synchronuhr unter Schutz stellt, und ein rundes Dutzend Patente bezieht sich allein auf die Gangreserve von Synchronuhren.

Außerordentlich schnell haben sich die billigen Uhren mit Anwerfmotor zu einer einheitlichen Art entwickelt; die verschiedenen Fabrikate sind einander ähnlich geworden wie die Eier. Der Uhrmacher braucht also nicht mehr wie noch vor wenigen Jahren sein Augenmerk besonders auf die Konstruktion zu richten, sondern die Ausführung der Werke und damit die Betriebssicherheit bleibt zu untersuchen.

Es werden noch weitere Konstruktionen entstehen müssen, die besonders auf das Bedürfnis der an die Überlandnetze angeschlossenen Orte zugeschnitten sind. Die in Freileitungsnetzen laufenden Uhren benötigen einen *b i l l i g e n A n w e r f m o t o r*, der die *k u r z z e i t i g e n*, vielleicht bis zu fünf Sekunden dauernden *S t r o m u n t e r b r e c h u n - g e n* oder *S p a n n u n g s a b f ä l l e* überbrückt, während alle Stromausfälle von längerer Dauer ihn zum Stillstand bringen müssen.

Billigkeit, Stabilität und hohe Gangleistung zeichnen schon heute die Synchronuhr aus. Bedenkt man aber noch, daß die Frequenzregulierung mittels Röhrenfrequenzmesser und ähnlichen Einrichtungen mit jedem Jahr eine höhere Bedeutung gewinnt, so daß dadurch die einfache Synchronuhr zu einem wahren „Präzisionszeitmesser“ wird, so hieße es die eigene Existenz absichtlich in Frage stellen, wenn der Fachmann dem Verkauf dieser Uhr nicht ein vordringliches Interesse widmen würde.

Anhang

1. Die Sinusform des Wechselstromes Eine allgemeinverständliche Erklärung

Im Teil II, Abschnitt 1, ist die Entstehung der einzelnen Stromstöße des Wechselstromes beschrieben, deren Kennlinie nach Abbildung 2 sinusförmig verlaufen soll. Es ist von größter Bedeutung für ein eingehendes Verständnis der Wechselstromtechnik, daß man sich über Form und Konstruktion einer Sinuskurve und besonders über deren Beziehung zu den Wechselströmen klar ist. Die nachstehenden Ausführungen sind in erster Linie dem Nachwuchs des Faches gewidmet, insbesondere denjenigen Lesern, die nicht bereits ein zum tieferen Verständnis der Elektrotechnik unbedingt zu empfehlendes Einleitungsbuch in die Grundlagen der Elektrotechnik besitzen.

Der Sinus

Das lateinische Wort „Sinus“ ist mit „Krümmung“ oder „Bogenform“ zu übersetzen, in bezug auf unsere Betrachtung bildet der Sinus eine trigonometrische Funktion.

Jedes rechtwinkliche Dreieck umschließt wie jedes Dreieck als Summe aller drei Winkel 180 Winkelgrade, so daß nach Abbildung 85 die beiden spitzen Winkel α und β zusammen gleich 90 Grad sind. Die Linie a ist die Hypotenuse, sie liegt dem 90 Grad einschließenden rechten Winkel gegenüber, b und c sind die Katheten. Je nach dem Längenverhältnis beider Katheten sind die beiden Winkel α und β verschieden groß. Die Längen der Katheten stehen in ganz bestimmten Verhältnissen zu den Winkeln α und β ; diese Verhältnisse bilden die Grundlage der „Trigonometrie“. Wer sich über die trigonometrischen Funktionen eingehend unterrichten will, lese das leichtverständlich geschriebene Buch von Dr. Kesseldorfer: „Grundbegriffe der Elektrotechnik“; wir wollen uns hier nur mit der Sinusfunktion befassen.

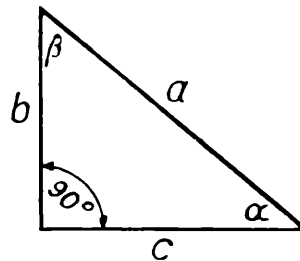


Abb. 85.
Rechtwinkliges Dreieck

Nach Abbildung 85 ist für den Winkel α die Linie c die Ankathete und b die Gegenkathete, für den Winkel β ist b die Ankathete und c die Gegenkathete. Diese Lage der Katheten zu den beiden Winkeln muß man sich unbedingt einprägen. Nehmen wir nun an, die Kathete b sei 30 mm und die Hypotenuse a sei 40 mm lang. Dividieren wir jetzt den Wert der Gegenkathete b des Winkels α durch den Wert der Hypotenuse a , so erhalten wir den Sinus dieses Winkels,

$$\sin \alpha = \frac{b}{a} = \frac{30}{40} = 0,75.$$

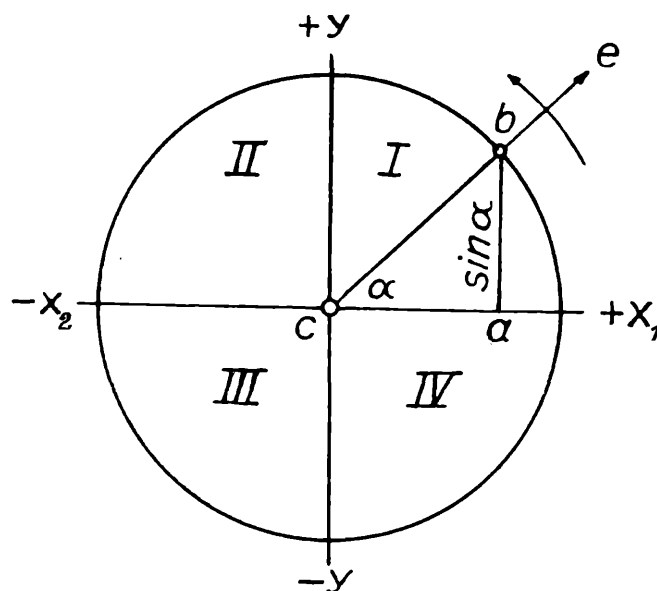


Abb. 86. Einheitskreis

Weiter sei die Kathete c 35 mm lang; sie ist die Gegenkathete des Winkels β , die Hypotenuse a hat die Länge von 40 mm. Dann wird der Sinus des Winkels

$$\sin \beta = \frac{c}{a} = \frac{35}{40} = 0,875.$$

Der Sinus eines spitzen Winkels im rechtwinkligen Dreieck stellt also die Verhältniszahl zwischen der Gegenkathete dieses Winkels und der Hypotenuse dar; es ist

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete } b}{\text{Hypotenuse } a}; \quad \sin \beta = \frac{\text{Gegenkathete } c}{\text{Hypotenuse } a}.$$

Da die Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks stets größer ist als eine der beiden Katheten, so liegt jeder Sinuswert zwischen Null und Eins; er bildet stets einen Bruch.

Die Sinusfunktion

Ein Kreis wird in 360 Grade eingeteilt und umschließt vier rechte Winkel von je 90 Grad, die nach Abbildung 86 als die Quadranten I bis IV bezeichnet und durch die Abszissen- oder X-Achse und die Ordinaten- oder Y-Achse getrennt werden. In den Quadranten I ist das Dreieck $a b c$ eingezeichnet. Den Kreis bezeichnen wir als „Einheitskreis“, dessen Radius $\overline{c b}$ gleich 1 ist. Für den Winkel α ist die Linie $\overline{a b}$ die Gegenkathete; die Linie $\overline{c b}$ bildet die Hypotenuse, die als Radius des Kreises den Wert 1 hat. Somit berechnet sich der Sinus zu

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\overline{a b}}{\overline{c b}} = \frac{\overline{a b}}{1} = \overline{a b},$$

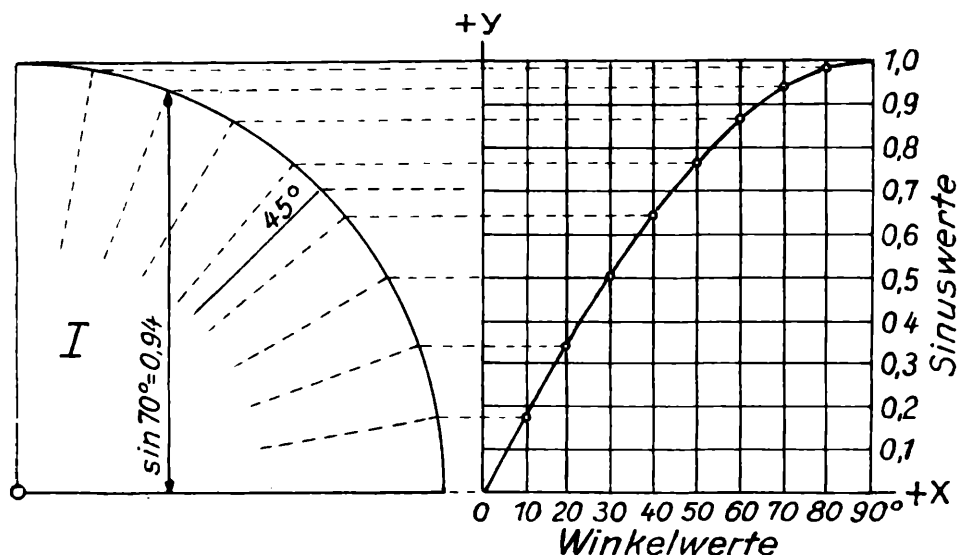


Abb. 87. Ableitung der Sinuskurve aus der Sinusfunktion im Einheitskreis

Das heißt: Die Länge der Linie ab entspricht der Größe des Sinus des Winkels α .

Denken wir uns nun die Linie ce als eine Stange drehbar um den Kreismittelpunkt angebracht und die Sinuslinie ab gelenkartig bei b an der Stange $c-e$ eingehängt, so können wir uns durch Drehen der Stange ein übersichtliches Bild von der Größe der Sinusfunktion bei dem Durchlaufen der Winkel aller Quadranten I bis IV machen. (Wir stellen uns dabei am besten die Sinuslinie ab als einen aus mehreren kleinen Gliedern auf verschiedene Längen ausschiebbaren Stab vor, den wir bei jeder Veränderung der Lage wieder auf eine solche Länge bringen, daß sein unteres Ende die X-Achse berührt.) Da man die vom Mittelpunkt nach rechts verlaufende X-Achse und die nach oben verlaufende Y-Achse als positiv bezeichnet, so muß sich die Stange (der Vektor) gegen den Uhrzeiger, also in der Pfeilrichtung von X_1 nach X_2 drehen. Legen wir den Vektor bei X_1 an und drehen ihn bis X_2 , so entspricht die Drehung einer Halbperiode; eine vollständige Drehung um den Kreis herum bildet eine ganze Periode.

Untersuchen wir nun die Sinusfunktion im Quadranten I. Wir erkennen ohne weiteres, daß ihre Kennlinie ab Null werden muß, wenn der Vektor $c-e$ sich mit der positiven X-Achse $c-X_1$ deckt, daß sie aber den Wert 1 annimmt, wenn der Vektor über der positiven Y-Achse $c-Y$ steht, und daß die Werte der Sinusfunktion stets zwischen Null und Eins liegen, also ein Bruch sein müssen. Weiter ist zu erkennen, daß ein Überstreichen des Quadranten I ein Anwachsen der Werte der Sinusfunktion zur Folge hat, da die Linie ab um so länger wird, je mehr der Vektor von X_1 abwandert und sich der positiven Y-Achse nähert.

Im Quadranten II ist dagegen der Verlauf der Sinuslinie ein umgekehrter. Denn auf dem Wege von der positiven Y-Achse zur negativen X-Achse X_2 fällt die Sinuslinie ab vom ihren Höchstwert Eins auf Null ab.

Aus unserer Betrachtung geht hervor, daß der Sinus bei Beginn einer Halbperiode (eines Wechsels) den Wert Null hat, nach

Verlauf einer Viertelperiode seinen Höchstwert annimmt und am Ende der Halbperiode wieder auf Null abgefallen ist.

Die Konstruktion der Sinuskurve

In der Abbildung 87 ist links der Quadrant *I* mit den Winkeln von 0 bis 90 Grad in Abständen von zehn zu zehn Grad gezeichnet, während rechts ein Koordinatensystem aufgetragen wurde, dessen *X*-Achse die Abszissen für die Winkelteilung, und dessen *Y*-Achse die Ordinaten für die Sinuswerte trägt. In Abhängigkeit von den Winkelgrößen des Quadranten *I* sind sodann die Schnittpunkte für die Sinuskurve im Koordinatensystem bestimmt worden, nach denen sich die Form der Sinuskurve einer Viertelperiode durch Projektion zwangsläufig ergibt. Klappt man diese Kurve als Ergänzung nach rechts um, so ergibt sich die vollständige Kurve eines Wechsels oder einer Halbperiode. Zeichnet man dann anschließend die Kurven der Quadranten *III* und *IV*, so verlaufen diese entsprechend dem Vorzeichen dieser Quadranten negativ, und zusammenhängend bilden alle vier Kurven eine volle Periode.

Die Sinusform des Wechselstromes

Aus der Beschreibung über die Entstehung des Drehfeldes (Teil II, Abschnitt 4c) und der Abbildung 13 ist zu entnehmen, daß in jedem Generator einem Pluspol der Ständerwicklung ein Minuspol gegenübersteht (I_1 — I_2), die um 180 Grad zu einander versetzt sind. Der so im Ständer gebildete Elektromagnetismus hat in der Längsmittle des Elektromagneten, also am Ständerumfang bei 90 und bei 270 Grad, seine „Indifferenzzone“, die keine Kraftlinien aussendet. Wenn man sich einen Pol des Magnetkreuzes (die Nadel *m* in Abbildung 13) nach rechts umlaufend denkt, so wird demgemäß die Bildung eines Induktionsstromes in der Spule I_1 beginnen, wenn der Pol des Magnetkreuzes sich an der Spule I_2 befindet, und sie wird bei der Stellung I_1 beendet sein. Das bedeutet, daß der Verlauf eines Stromstoßes sich über 180 Grad des Ständerumfanges erstreckt.

Die Bewegung eines Magnetpoles einer Dynamomaschine ist genau die gleiche wie die des Vektors *c—e* der Abbildung 87, von der unwesentlichen Drehrichtung abgesehen. Sie ist erstens in beiden Fällen eine kreisförmige, und zweitens entsteht durch eine Halbdrehung des Poles ein Stromstoß, wie durch Überstreichen zweier Quadranten eine Halbperiode gebildet wird. Somit muß, gleichmäßige Bewegung von Magnetpol und Vektor vorausgesetzt, in jedem Augenblick des Verlaufs einer Halbperiode die Amplitude bzw. der Momentanwert des Stromstoßes der Länge der Sinuslinie *ab* entsprechen oder mit anderen Worten: Jeder Stromstoß eines Wechsel- oder Drehstromes ist in seiner Grundform sinusförmig.

Die Kenntnis der Konstruktion einer Sinuskurve bringt uns Klarheit über die Abhängigkeit der Sinuswerte von den Winkelgrößen und damit zugleich über die Abhängigkeit der „Augenblickswerte“ eines Stromstoßes von der Halbperiode. Aus der Abbildung 87 geht beispielsweise hervor, daß für den Winkel 90 Grad der Sinus den Wert 1 hat, und daß demnach auch der Augenblickswert jedes Stromstoßes bei 90 Grad der Periode seinen höchsten positiven und nach Abbildung 12 bei 270 Grad seinen höchsten negativen Wert annimmt.

So verstehen wir nun auch, warum nach den Ausführungen im Teil II, Abschnitt 1 und Abbildung 5, die Läuferstellungen eines Synchronmotors mit vier Stromphasen in Verbindung gebracht worden sind, und warum in der Stellung *II* der Augenblickswert der Stromstärke nach Verlauf von $\frac{1}{8}$ Periode

zu $\frac{7}{10}$ des Höchstwertes angegeben ist. Ein Achtel der Periode entspricht einem Winkel von $360 : 8 = 45$ Grad. Wie aus der Abbildung 87 dieser Betrachtungen unmittelbar hervorgeht, ist der Sinuswert des Winkels 45 Grad gleich 0,7 (nach der Sinustabelle 0,70711 genau). Die Halbperiode ist also in die gleichen vier Teile 0 bis 45, 45 bis 90, 90 bis 135 und 135 bis 180 Grad zerlegt worden. Diesen Winkeln sind die Sinuswerte 0 bis 0,7, 0,7 bis 1, 1 bis 0,7 und 0,7 bis 0 zugeordnet.

2. Phasenverschiebung im Wechselstromkreis

Aus den Angaben im Teil II, Abschnitte 11 und 12, ist ersichtlich, daß die Verhältnisse zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand im Wechselstromkreis verwickelter sind als im Gleichstromkreis. Es soll daher, besonders in Rücksicht auf die heute an die Kenntnisse der jungen Fachleute gestellten höheren Anforderungen, nachstehend versucht werden, die Vorgänge im Wechselstromkreis möglichst leichtverständlich zu behandeln.

Der Gleichstromkreis

In einem mit Gleichstrom gespeisten Stromkreise ist die Stromstärke mit Hilfe des einfachen Ohmschen Gesetzes ohne weiteres bestimmbar, wobei man den im Stromkreise liegenden Widerstand mit einem Ohmmeter direkt messen kann. Beträgt beispielsweise die an den Apparat (den Widerstand) gelegte Spannung 100 Volt, und hat der Apparat einen Widerstand von 1000 Ohm, so ist nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärke

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{1000} = 0,10 \text{ Ampere.}$$

In dieser Formel bedeutet I die Stromstärke, U die Spannung und R den Widerstand. Stellt man die Formel um, so ergibt sich weiter:

$$R = \frac{U}{I} \text{ und } U = R I.$$

Ebenso einfach ist die Bestimmung der Stromstärke aus der verbrauchten, in Watt oder Kilowatt ausgedrückten Leistung, sie wird

$$I = \frac{N}{U},$$

wenn I die Stromstärke, N die Leistung und U die Spannung ist.

Der Wechselstromkreis

Sobald die Windungen einer Spule, besonders wenn in sie ein Eisenkern eingeschoben ist, von einem Strom wechselnder Richtung durchflossen werden, gilt das Ohmsche Gesetz nur noch bedingt, das heißt, es gestaltet sich erheblich umständlicher; für den Wechselstromkreis lautet es

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2 \pi f)^2 L^2}}$$

oder, wenn für $2 \pi f$ der griechische Buchstabe ω (Omega) eingesetzt wird,

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

In dieser für Wechselstrom geltenden Form des Ohmschen Gesetzes hat der Nenner ein weiteres Glied mit mehreren Faktoren erhalten ($2 \times 3,14$, Frequenz f , Selbstinduktions-Koeffizient L der Spule), so daß der Ohmsche Widerstand R der Apparaturwicklung nicht mehr allein ausschlaggebend ist.

Ebenfalls ist im Wechselstromkreis die Berechnung der Stromstärke aus der Leistung eine andere, sie wird

$$I = \frac{N}{U \cos \varphi}.$$

Mit dem Ausdruck „ $\cos \varphi$ “ bezeichnet man die Phasenverschiebung, die bei dem Fließen eines Wechselstromes über die Windungen einer Spule zwischen der Spannung und der Stromstärke auftritt.

Ein Vergleich zwischen der Berechnung der Stromstärke im Gleichstrom- und im Wechselstromkreis zeigt, daß bei gleicher Spannung die Stromstärke im Wechselstromkreis kleiner ausfällt als im Gleichstromkreis. Dieser Unterschied entsteht offenbar dadurch, daß jede Spule dem Wechselstrom einen höheren Widerstand bietet als dem Gleichstrom; tatsächlich unterscheidet man im Wechselstromkreis einen Ohmschen und einen Scheinwiderstand. Wir wollen versuchen, uns das Entstehen dieses Scheinwiderstandes zu erklären.

Die Selbstinduktion

Der Wechselstrom besteht aus einzelnen Stromstößen wechselnder Richtung, deren doppelte sekundliche Anzahl die „Frequenz“ des Stromes genannt wird, während zwei aufeinander folgende Stromstöße ungleicher Richtung sich zu einer „Periode“ zusammensetzen. Die Kennlinie einer Periode ist in Abbildung 2 wiedergegeben und im Teil II, Abschnitt 1, besprochen. Gemäß dieser Kennlinie entsteht sowohl die Spannung wie auch die Stromstärke mit dem Werte Null; sie wachsen dann auf ihren Scheitelwert an und fallen mit ihrer Beendigung wieder auf Null ab.

Nun entsteht nach dem Gesetz der Selbstinduktion sowohl bei Beginn wie auch bei Beendigung eines jeden Stromstoßes eine Energie der Selbstinduktion, die bei der Entstehung des Stromstoßes diesem entgegenwirkt und bei der Beendigung im gleichen Sinne fließt. Das Wesen dieser Selbstinduktion ist so zu erklären, daß sich durch den Einfluß der Amperewindungen (Spulenwindungszahl \times Stromstärke) in dem Eisen des Elektromagneten (und auch im Bereich der Windungen selbst) ein magnetisches Feld aufbaut, welches mit Beendigung des Stromstoßes wieder zusammenbricht. Die Entstehung des Magnetfeldes bedingt den Verbrauch von elektrischer Energie, die bei Zerfall des Magnetfeldes wieder frei wird. Somit übt die Selbstinduktion drei Wirkungen auf den Wechselstromkreis aus:

1. Die Selbstinduktion verzögert sowohl das normale Ansteigen wie auch das Verschwinden eines jeden Stromstoßes.
2. Die Spannung der Selbstinduktions-Energie arbeitet der primären Spannung entgegen, so daß letztere geschwächt wird und daher nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärke kleiner ausfällt.
3. Die Selbstinduktion bindet einen Teil der elektrischen Energie für die Magnetisierung der Spulen, um diese dann wieder freizugeben.

Die Selbstinduktion wirkt also im Wechselstromkreis wie ein besonderer Widerstand, und so unterscheidet man den nur von dem Ohmschen Widerstand abhängigen Wirkwiderstand und den durch den Ohmschen Widerstand und die Selbstinduktion zusammen gebildeten Scheinwiderstand.

Die Phasenverschiebung

Wenn der Strom eines jeden Stromstoßes durch die Selbstinduktion sowohl an seiner rechtzeitigen Entstehung wie auch an seiner rechtzeitigen Beendigung verhindert wird, so bedeutet das nichts anderes, als daß der Strom zeitlich hinter der Spannung zurückbleibt; er hinkt hinter der Spannung nach. Diese Nacheilung des Stromes wird als die induktive Nacheilung bezeichnet, weil sie ja die Folge der induzierten Gegenspannung ist. Sie kann natürlich nur dann auftreten, wenn im Stromkreis Stromverbraucher liegen, in denen Magnetismus gebildet wird, die also Spulen enthalten.

Die zeitliche Nacheilung des Stromes wird um so stärker, je mehr Windungen die Spulen haben, je größer der gebildete Magnetismus ist, und je höher die Frequenz des Wechselstromes ist. „Induktionsfreie“ Widerstände (bifilar, d. h. gegenläufig gewickelte Spulen ohne Eisen, Glühlampen, Heizwiderstände) verursachen keine Verschiebung zwischen Strom und Spannung.

Im umgekehrten Sinne wirken „kapazitive“ Einflüsse auf die Verschiebung ein; in diesem Falle eilt die Spannung dem Strome zeitlich nach. Eine kapazitive Belastung entsteht durch eingeschaltete Kondensatoren, durch Kabelleitungen, die als Kondensatoren wirken, und durch übererregte Synchronmotoren, die als „Phasenschieber“ zur Verbesserung der induktiven Verschiebung in Drehstromnetzen Verwendung finden. Ein Kondensator wird durch jeden Stromstoß „aufgeladen“ und wieder entladen; er stellt einen Stromaufspeicherer dar. Der geladene Kondensator gibt also bei der Bildung eines neuen Stromstoßes seine Ladung wieder ab, wodurch das Nacheilen des Stromes bei induktiver Belastung je nach der Stärke der Ladung, der „Kapazität“ der eingeschalteten Kondensatoren, mehr oder weniger aufgehoben wird. So ist es verständlich, daß bei rein kapazitiver Belastung, wenn also nur Kondensatoren oder wie sie wirkende Apparate eingeschaltet sind, das umgekehrte Verschiebungsverhältnis eintritt: Bei kapazitiver Belastung eilt der Strom der Spannung vor.

Wir können nunmehr feststellen: Bei einer induktionsfreien Belastung (Licht- und Heizstrom) sind Strom und Spannung miteinander in „Phase“; ihre beiden Kennlinien decken sich bei gleichem Maßstab für beide Werte, wie in der Abbildung 2. Bei induktiver Belastung eilt die Spannung der Stromstärke voraus, und bei kapazitiver Last eilt die Stromstärke der Spannung voraus.

In der Abbildung 88 ist eine induktive Phasenverschiebung dargestellt, und zwar eilt der Strom I der Spannung U um eine Viertelperiode (halber Wechsel) nach. Teilt man nun die im Verlauf einer Periode verflossene Zeit (bei der Frequenz 50 also $\frac{1}{50}$ Sekunde) in 360 Grade ein, so können wir den Wert der Verschiebung in Winkelgraden messen. In unserer Abbildung 88 ist dann der Strom gegen die Spannung um $360 : 4 = 90^\circ$ nach rückwärts verschoben. Betrachten wir nun die Stellung der beiden Kennlinien, wie sie in den verschiedenen Zeitmomenten einer Periode sich zueinander ergeben, so erkennen wir folgendes:

Bei Beginn der Periode hat die Spannung den Wert Null, während die Stromstärke auf ihren momentanen negativen Höchstwert, den „Scheitelwert“, gekommen ist. Nach Verlauf einer Viertelperiode (90°) hat die Spannung ihren positiven Höchstwert erreicht, während die Stromstärke gleich Null ist. Bei 180° geht die Spannung durch Null, und die Stromstärke nimmt ihren positiven Höchstwert an. In der zweiten Halbperiode erreicht die Spannung bei 270° ihren negativen Höchstwert, während die Stromstärke den Wert Null hat, und schließlich ist die Spannung bei 360° wieder auf Null gekommen, während die Stromstärke ihren negativen Höchstwert zeigt.

Betrachten wir nun die Lage der Spannungs- und der Stromkurve zueinander innerhalb der einzelnen Viertel der Periode, so ergeben sich folgende Beziehungen:

Zwischen 0 und 90° ist die Spannung U positiv und die Stromstärke I negativ; zwischen 90 und 180° sind U und I beide positiv; zwischen 180 und 270° ist U negativ und I positiv; zwischen 270 und 360° sind U und I negativ. Da nun die elektrische Leistung das Produkt aus Spannung und Stromstärke

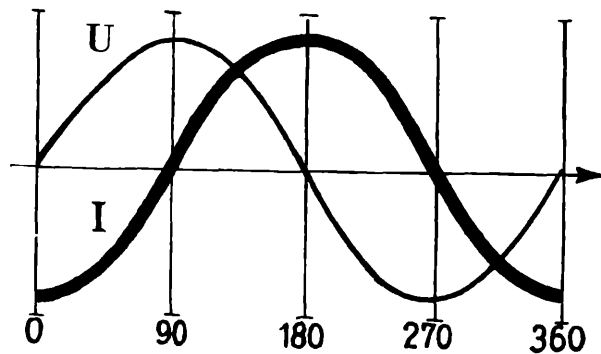


Abb. 88.
Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung

bildet ($1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampere} = 1 \text{ Watt}$), so ergibt die Multiplikation der Werte in Berücksichtigung ihrer Vorzeichen (siehe Band I dieser Schriftenreihe, Anhang über das Rechnen mit ungleichen Vorzeichen):

$$\begin{aligned} 0 \text{ bis } 90^\circ &= (+U) \cdot (-I) = - \\ 90 \text{ bis } 180^\circ &= (+U) \cdot (+I) = + \\ 180 \text{ bis } 270^\circ &= (-U) \cdot (+I) = - \\ 270 \text{ bis } 360^\circ &= (-U) \cdot (-I) = + \end{aligned}$$

Im Verlauf sowohl des positiven wie auch des negativen Wechsels ist also die Leistung zeitlich halb positiv und halb negativ; die Teilleistungen heben sich gegeneinander auf. Das aber heißt: Bei einer Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung ist die Leistung gleich Null. Obgleich Strom und Spannung auf den Verbraucher einwirken, ist doch die Wirkung völlig aufgehoben. (Eine solche Phasenverschiebung würde vorliegen, wenn wir eine Spule ohne jeden Ohmschen Widerstand bauen und an eine Wechselspannung anschließen würden.)

Wir haben erkannt, daß die Leistung um so geringer wird, je mehr der Strom gegen die Spannung von 0 bis 90° zeitlich verschoben ist. Diese Leistungsabnahme folgt aus Gründen, die nur trigonometrisch zu beweisen sind, der Kosinusfunktion; es mag hier der einfache Hinweis genügen, daß eine Verschiebung zweier Sinuskurven um 90° nach trigonometrischen Regeln dem Kosinuswert Null entspricht. Somit ist im Wechselstromkreis die Nutz- oder Wirkleistung gleich

$$N = UI \cos \varphi,$$

wenn mit φ (griechischer Buchstabe „Phi“) der Winkel der Verschiebung zwischen Strom und Spannung bezeichnet ist.

Der Blindverbrauch

Es wurde bereits erwähnt, daß jeder Stromstoß für die Magnetisierungsarbeit eine Leistung abgeben muß, die nach seinem Verlauf wieder frei wird. Dieser Verbrauch wird als **Blindleistung** oder **wattlose Leistung** bezeichnet; er ist um 90° nach rückwärts zu der Wirkleistung verschoben und bestimmt sich daher zu

$$\text{Blindleistung} = I I \sin \varphi.$$

Der Blindstrom stellt eine Mehrbelastung der Leitungen und Dynamomaschinen dar, wird aber infolge seiner Verschiebung zur Wirkleistung von den üblichen (Kosinus-) Zählern nicht registriert.

Bei einer Phasenverschiebung von $\cos \varphi = 0,0$ ist die Blindleistung gleich 1,0. Das heißt, der gesamte Verbrauch besteht aus Blindleistung. Bei $\cos \varphi = 1,0$ ist die Blindleistung gleich 0,0. Dieser letzte Fall tritt ein, wenn induktions- und kapazitätsfreie Verbraucher eingeschaltet sind (Lampen, Heiz- und Kochgeräte).

Die geometrische (nicht die algebraische) Summe aus Wirk- und Blindleistung ergibt die **Scheinleistung**, die gleich UI ist, und die den erhöhten scheinbaren Wert der im Stromkreis liegenden induktiven oder kapazitiven Widerstände berücksichtigt. Dieser „scheinbare“ Widerstand findet seine Berücksichtigung in dem Nenner der eingangs gebrachten Formel für das Ohmsche Gesetz im Wechselstromkreis, wonach neben dem Ohmschen Widerstand R noch die „Kreisfrequenz“ ($2\pi f$) sowie die Selbstinduktion L der Spulen in die Rechnung eingehen.

Stichwort- und Namenverzeichnis

Adelsberger, Dr.	136	Betriebssicherheits-Prüfung .	105
Abstellvorrichtung für		Bildübertragung, Zeitverteilung durch	135
Wecker 73, 76,	79	Blindleistung und Qualität einer Synchronuhr .	104
AEG 14, 16, 23, 25, 37, 48, 49,	81, 100	Blindstrom	100
Anlaufmoment, Kraftmoment und	32	Blindverbrauch 96,	147
Anschlußkörper 56,	59	Böhmisch-Mährische Kolben A. G.	58
Anwerfgeschwindigkeit .	11	Cos φ 97, 144,	146
Anwerfmotoren	19	Dauerabstellung elektrischer Wecker 71,	79
Anwerfmotor mit Überbrückung kurzer Stromausfälle	138	Dorning-Sender	125
Anwerfmotor oder Selbstanläufer?	38	Drahtlose Einstellung der Siemens-Hauptuhr .	132
Anwerfmotors, Reparatur des	109	Drahtloser Uhrenbetrieb . .	125
Anwerfmotor, Synchronuhren mit	28	Drehfeld, Künstliches .	21, 24
Anwerfmotor, Vielpoliger .	20	Drehfeld, Magnetisches .	21
Anwerfvorrichtung 34, 52, 57, 59, 60, 65,	71	Drehfeld, Zweiphasen- . .	22
Assa-Synchronuhr	49	Drehmoment 9, 32,	113
Assa-Gangreserve-Synchronuhr	89	Drehrichtung	11
Astronomie, Anwendung des Synchronmotors in der .	121	Drehstrom	7
Asynchrones Anlafelement	21	Drehzahl und Frequenz . .	7
Asynchronmotor und Zeitmessung	23	Drehzahl, Synchrone . 7, 9,	11
Ato - Gangreserve - Synchronuhr	90	Drehzahl, Polzahl und . .	11
Ato-Radiola-System	130	Drehzahl und Übersetzung .	28
Baltzer, J. 6, 18,	127	Dreiecksspannung	105
Bedürfnis für drahtlosen Uhrenbetrieb?	127	Dreifachstecker	115
Beermann, Dr.	135	Eifert, A.	6
		Eigenverbrauch des Ampere-meters	103
		Eigenverbrauch des Watt-meters	102
		Eingriff, Mangelhafter . .	34
		Einheitskreis	140

Elektrische Schläge . . .	117	Gangreserve - Synchronuhr	
Elektrizitätswerke mit Fre-		(Kienzle)	90
quenzregulierung . . .	43	Gangreserve-Synchronuhren,	
Erregerpolpaare . . .	23	Reparatur von	111
Erzwungene Schwingung .	84	Gehwerke, Synchronuhr-. .	44
		Genauigkeit von Synchron-	
„Fahrplan“ der Elektrizitätswerke . . .	15	uhren	17
Fallklappenrelais . . .	37	Genauigkeits - Untersuchun-	
Fernwirkanlagen . . .	16	gen an Synchronuhren . .	18
Ferranti-Motor	26	Geodätisches Institut Pots-	
Flume	50	dam	137
Freileitungsnetzen, Syn-		Geometrische Reihe . . .	123
chronuhren in	39, 41	Gewitter und Stromunter-	
Frequenz	7, 8	brechung	38
Frequenzabhängigkeit und		Geräusche	8, 30, 33, 54, 112
Zeitmessung	12	Gleichstrom, Falscher An-	
Frequenzhaltung, Prüfung		schluß an	116
auf	107	Gleichstrom, Vorführung von	
Frequenzhaltung, Schwierig-		Synchronuhren mit . . .	108
keiten der	15	Gossen, P., & Co.	98, 99, 100
Frequenzkontrolle . . .	13	Hartmann und Braun . . .	13, 100
Frequenzkontrolle durch		Heliowatt-Gangreserve-Syn-	
Uhren	14, 15	chronuhr	91
Frequenzmesser, Röhren- .	14, 16	Heliowatt-Synchronuhren .	52
Frequenzmesser, Zungen- .	13	Heliowatt-Synchronwecker .	72
Frequenzregulierung . . .	13	Heliowatt-Synchronuhr mit	
Frequenzregulierten Elek-		Startermotor	93
trizitätswerke, Liste der .	43	Hochfrequenz	123
Frequenzsteuerung . . .	17	Höhenluft	33
Frequenzuhren	14	Hysteresemotor	23
Frequenz-Wähler im Tel-		Hypotenuse	139
System	123		
		Induktive Nacheilung . . .	145
Gangreserve	41	Installationsbestimmungen .	117
Gangreserve-Synchronuhren	80	Instrumentkonstante . . .	101
Gangreserve - Synchronuhr		Isolierstoffrad	28
(AEG-Mauthe)	81		
Gangreserve - Synchronuhr		Jauch & Schmid, Synchron-	
(Assa)	89	uhren von	53
Gangreserve - Synchronuhr		Jauch & Schmid, Synchron-	
(Ato)	90	wecker von	73
Gangreserve - Synchronuhr		Junghans-Synchron-Schlag-	
(Heliowatt)	91	werkuhren	67

Junghans-Synchronuhren	54	Messen des Wirkverbrauchs	99
Junghans-System der draht- losen Uhren-Einstellung	128	Michl-Synchronuhr	57
Kadratur	66	Morawetz	125
Kapazitive Voreilung	145	Motor-Reparaturen	109
Katheten	139	Muck, O.	123
Kesseldorfer, W.	5, 6, 103, 139	Nachstellvorrichtung	35, 91
Kieninger & Obergfell, Syn- chronuhr von	54	Nebenschluß	33, 53, 54, 71
Kienzle - Gangreserve - Syn- chronuhr	90	Novotext	29, 30, 109
Kienzle-Synchronuhren	55	Ohmsches Gesetz	143
Kraftmoment und Anlauf- moment	32	Ölkammer	59
Kupplung und Entkupplung des Schlagwerks	69	Ölen von Synchronuhren	110
Kurzzeitmesser, Synchron-	120	Pendelnder Anker (Ferranti- Motor)	27
Lagerung des Rotors 30, 33, 61,	112	Peter-Synchronuhren	58
Lagerung, Prüfung der	105	Periode	7, 8
Langsamläufer	48	Phasen der Stromstärke	9
Laplace	58	Phasenverschiebung 143, 145,	146
Laufwerk	28	Phasenverschiebung ver- schiedener Synchronuhren	97
Laufwerk, Reparatur des	109	Physikalisch-Technische Reichsanstalt	136
Lavet, M.	90, 130	Polzahl und Drehzahl	11
Lehruhr, Synchron-	50	Prüfung auf Betriebssicher- heit	105
Leistungsmessung, Genauig- keit der	102	Prüfung auf Frequenzhal- tung	107
Leitungsgerichtete Wechsel- ströme	123	Prüfung der Rotorlagerung 30,	105
Mavometer	98	Quarzuhren	136
Mauthe - Gangreserve - Syn- chronuhr	81	Registriergerät, Synchron-	120
Mauthe-Synchronuhr	57	Reithoffer	125
Mauthe-Synchronwecker	74	Reparatur der Synchron- uhren	109
Mauthe - Synchron - Schlag- werkuhr	63	Resonanzerscheinungen 34,	84
Mehrfachtarifzähler, Syn- chron	120	Resonanzrelais	124, 131
Messen von Strom und Span- nung	98	Rohhautrad	28
		Rotor	8, 30
		Rotor aus drei Scheiben (Speck-Synchronuhr)	61

Rotorlagerung und Geräusche	33	Sinusfunktion	140
Rotor - Polzahl	23	Sinuskurve, Ableitung der — aus dem Einheitskreis . .	141
Sangamo-Motor	25	Spannungsabhängigkeit . .	106
Schaltuhren, Synchron-	120	Sparstoffe	29
Scheibe, Dr.	136	Speck-Synchronuhren . . .	61
Scheinleistung	147	Spule . 32, 51, 54, 60, 62,	110
Scheinwiderstand	144	Spulen-Prüfung	105
Scheinverbrauch . . 96, 97,	98	Startermotor	93
Scherenkupplung	88	Starkstromes, Gefahren des .	117
Schild, A., S.A.	49, 89	Starkstrom und Schwach- strom, Anschluß an	115
Schlagwerkes, Auslösung des	66	Statorbleche	60
Schlagwerk, Rein elektrisches	64	Steckdose und Stecker . .	115
Schlagwerkuhren, Synchron-	63	Stehenbleiben bei Strom- unterbrechungen . . 19,	115
Schlüpfung	23	Stehenbleiben, Unerklär- liches	106
Schnellläufer	48	Sternspannung	105
Schneider-System	125	Stiftlager 30,	33
Schwingung, Erzwungene	84	Störungsmöglichkeiten des drahtlosen Uhrenbetriebes	126
Schwingungen, Überlagerte .	85	Stromunterbrechungen 19,	38,
Schwungmasse	11	Stromverbrauch	95
Schwungscheibe . . 31, 60,	63	Synchronisationsgrenze . .	83
Sekundenzeiger 12, 35, 55,	89	Synchronisierter Unruhgang- regler.	81
Selbstanläufer . 19, 21, 25,	61,	Synchronisierung, Mangel- hafte	83
	63	Synchronmotors, Arbeits- bedingungen des	11
Selbstanläufer?, Anwerfmo- tor oder	38	Synchronmotors, Das Prinzip des	7
Selbstanläufer in Laufwer- ken	121	Synchronpendler (Zachariä)	91
Selbstanläufers, Reparatur des	109	Synchronwecker	71
Selbstanläufer, Synchron- uhren mit	37	Synchronweckern, Repara- tur von	110
Selbstinduktion	144	Telephonbau und Normalzeit, Synchronuhren von . . .	62
Sichtscheibe	49	Tel-System	123
Siemens & Halske 37, 59,	100,	Tel-Uhren	124
	123	Tod, Der elektrische . . .	117
Siemens-Motor	26		
Siemens-Onogo-Hauptuhr	132		
Siemens-Synchronuhren .	59		
Siemens-Synchronwecker	76		
Signaluhren, Synchron- .	80		
Sinus	139		
Sinusform des Wechsel- stroms 8, 139,	142		

Tonfrequenter Wechselströme, Uhrenbetrieb mittels	122	Weckvorrichtung, Einstellen der	113
„Tritt“, Außer—fallen eines Synchronmotors	20	Wechselstrom	5
„Tritt“, In — fallen . . .	31	Wechselstromkurve, Sinusförmige	8
Übersetzung	12, 29	Wechselstromkurve, Verzerrte	8, 34
Umschaltvorrichtung für Gangreserve-Werk . . .	81	Wellenlänge	122
Unterbrechungen, Strom-	38	Westinghouse-(Siemens-) Motor	26
Untersynchron-Motoren .	25	Wewattmeter	99
VDE-Vorschriften	56, 59, 118	Wirkverbrauch	96, 99, 144
Verzerrter Wechselstrom .	34	Zachariä-Synchronpendler .	91
Vierundzwanzigstunden-Weckerblatt	71, 72	Zeigerwerk	35
Vorwiderstand	100	Zeigerstellvorrichtungen . .	60
Warren-(AEG-)Motor	23	Zeitintegral	17
Wattmeter	95, 99	Zeitzeichen	107
Wattmeterschaltung	100	Zeitzeichen, Drahtlose Uhreneinstellung durch .	128
Wecker-Abstellvorrichtung .	73, 76, 79	Zeitähler, Synchron-	120
Weckerblatt, Großes Stundenzifferblatt als	75	Zugstangenanwurf	53
Wecken nach zwölf Stunden	79	Zusammensetzen der Synchron-Lehruhr	50
Wecker, Selbsttätige elektrische	71	Zusammensetzen von Synchronuhren	112
Wecker, Synchron-	71	Zweifachstecker	115
		Zweiphasenstrom	21
		Zweiphasen-Drehfeld	22
		Zwölfstunden - Weckerblatt .	72, 73

Anzeigen-Teil

