

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 16

Artikel: Die Elektronik in der Elektromedizin

Autor: Liechti, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916762>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

tur-Kurve selbst durch Kaltverformung oder Aushärtung eine geeignete Form zu geben.

So entstand seinerzeit der erste derartige Werkstoff durch Chromzusatz zu 36-%igem Nickel-Eisen. Die Weiterentwicklung führte zu anderen Legierungszusätzen und abgewandelten, zum Teil aushärtbaren Legierungen mit guten Federeigenschaften. Nickel-Eisen-Legierungen mit ca. 40 % Nickel und 9 % Molybdän haben in letzter Zeit erhebliche Bedeutung gewonnen.

Wenn im Vorstehenden nur vom Temperaturgang des Elastizitätsmoduls gesprochen wurde, so darf dabei nicht übersehen werden, dass es bei der Anwendung letzten Endes auf die elastischen Kräfte ankommt. Diese sind aber nicht nur vom Elastizitätsmodul, sondern auch von den Abmessungen der Konstruktionsteile abhängig, und die Abmessungen wiederum ändern sich bei Temperaturänderungen nach Massgabe des thermischen Dehnungskoeffizienten. Um eine Kompensation der Temperatureinflüsse zu erreichen, muss also eine geeignete Kombination zwischen der Wärmedehnung und der Temperaturabhängigkeit des E-Moduls gefunden werden. Gerade hiefür ist es wichtig, dass man durch legierungstechnische Massnahmen und zweckmässige Vorbehandlung die elastischen Eigenschaften in einem gewissen Umfang beeinflussen kann (Fig. 14). Als Beispiel sei der Werkstoff «Thermelast 4009» genannt [28].

Wichtige Anwendungen sind Frequenzstabilisatoren, elektromechanische Filter, Waagen, Uhren, Stimmgabeln, Spannbänder in hochwertigen Geräten der Mess- und Regeltechnik.

9. Schlussbemerkung

Die behandelten Beispiele sollten zeigen, wie eng oft die Eigenschaften von Metallen und Legierungen mit den daraus resultierenden Anwendungen verknüpft sind. Vielfach sind es gerade Anomalien, die einen Anreiz zur technischen Anwendung bieten, und nicht selten werden durch die Anwendung neue Einblicke in metallkundliche und physikalische Vorgänge im Metall gewonnen. So trägt eine gute Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller und Anwender solcher

Werkstoffe einerseits zur Vertiefung der Erkenntnisse über Aufbau und Eigenschaft der Legierungen bei, andererseits dient sie dem technischen Fortschritt.

Literatur

- [1] G. Herrmann, S. Wagener, Die Oxydkathode, Bd. I und II, J. A. Barth Verlag, Leipzig 1950.
- [2] H. de Gude, Valvo-Berichte IX (1963), H. 2, S. 29...61.
- [3] Versch. Verfasser, Le Vide 51 (1954), H. 5.
- [4] W. Rohn, Zeitschr. f. Metallkde (1924), H. 8.
- [5] H. Thomas, Härterei-Technik und Wärmebehandlung 2 (1957), H. 2.
- [6] H. Pfeiffer, H. Thomas, Zunderfeste Legierungen, Springer-Verlag Berlin — Göttingen — Heidelberg 1963.
- [7] I. Pfeiffer, Zeitschr. f. Metallkde 49 (1958), S. 267...275.
- [8] H. Thomas, Zeitschr. f. Physik 129 (1951), S. 219...232.
- [9] H. G. Baer, Zeitschr. f. Metallkde 49 (1958), S. 614...622.
- [10] H. Thomas, Zeitschr. f. Metallkde 52 (1961), S. 813...816.
- [11] Nickel-Informationsbüro, Düsseldorf, Nickel-Kupfer-Legierungen.
- [12] Nickel-Informationsbüro, Düsseldorf, Kupfer-Nickel.
- [13] E. Houdremont, Handbuch der Sonderstahlkunde, Springer-Verlag Berlin — Göttingen — Heidelberg 1956.
- [14] R. Becker, W. Döring, Ferromagnetismus, J. Springer, Berlin 1939, S. 305 ff.
- [15] R. M. Bozorth, Ferromagnetism, van Nostrand Co., New York 1951, S. 641 ff.
- [16] E. Kneller, Ferromagnetismus, Springer-Verlag, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1962.
- [17] Nickel-Informationsbüro, Düsseldorf, Die physikalischen Eigenschaften der Nickel-Eisen-Legierungen.
- [18] C. Hoffrogge, Zeitschr. f. Physik 126 (1949), S. 671...688.
- [19] H. Thomas, Gaswärme 1 (1955), S. 24...27.
- [20] F. Kaspar, Bimetalle in der Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1960.
- [21] W. Düsing, Telefunken-Zeitung 26 (1953), S. 111...120.
- [22] H. Herrmann, Vakuum-Technik 4 (1955), S. 115...177.
- [23] J. H. Partridge, Glass-to-metal seals, Soc. Glass Technology, Sheffield 1949.
- [24] A. Zincke, Technologie der Glasverschmelzungen, Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1961.
- [25] F. Engel, Glastechn. Berichte 29 (1956), S. 5...10.
- [26] F. Assmus, 40 Jahre Vacuumschmelze AG. 1923—1963, S. 47...63.
- [27] R. Reinbach, Draht 6(1955), S. 79...81.
- [28] D. Böhme, L. Jung, 40 Jahre Vacuumschmelze AG. 1923—1963, S. 64...71.

Adresse des Autors:

H. Herrmann, Diplom-Physiker, Vacuumschmelze AG, Grüner Weg 37, 6450 Hanau.

615.84

Die Elektronik in der Elektromedizin

Von F. Liechti, Ostermundigen/Bern

Es ist eine interessante Tatsache, dass alle physikalischen Erscheinungsformen, sei es Wärme oder Kälte, Druck oder Unterdruck, elektrische Gleich- und Wechselströme in kontinuierlicher oder Impulsform, magnetische Felder, Hochfrequenzströme, α -, β - und γ -Strahlen, Ultraschall, Radar, UV-Licht bis zu Infrarot und neuerdings auch Laserbündel auf sehr verschiedene Art und Weise und zu ganz verschiedenen Zwecken am Menschen appliziert werden.

Der Zweck dieser Anwendungen verteilt sich auf die beiden Gruppen Therapie und Diagnose. Beide Gruppen stützen sich auf eine derartige Vielfalt von Apparaten und Verfahren, dass es im Rahmen eines Aufsatzes gar nicht möglich ist, mehr als nur eine allgemeine Orientierung zu geben. Eine vollständige Darstellung würde mehrere Bände füllen.

Die Elektronik spielt in der physikalischen Therapie eine grosse Rolle. Die Hauptanwendungsgruppen sind:

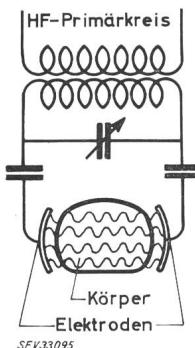
Ultrakurzwellentherapie;
Mittelwellenchirurgie;
Radartherapie;
Ultraschalltherapie;
Elektroschock-Therapie;
Impuls- und Interferenztherapie;
Syncardiale Therapie (Stautherapie);
Röntgentherapie;
Schrittmacher für die Wiederbelebung.

1. Physikalische Therapie

Die Ultrakurzwellentherapie

Der Zweck der UKW-Therapie ist die lokale, oder für die sog. Fiebertherapie, die generelle Erwärmung des Körpervgewebes, der Blutgefäße, der Muskulatur und der Knochen. In der Regel wird mit Frequenzen zwischen 25 und 50 MHz gearbeitet, wobei die freien Bänder durch Verordnungen der PTT bestimmt sind. Als Senderöhren dienen in der Regel zwei Pentoden. Die HF-Schwingungen werden

Fig. 1

Schwingkreis eines UKW-Therapieapparates

durch zwei Kondensatorelektroden auf den Körper übertragen. Mit einem Drehkondensator wird der sekundäre Schwingungskreis auf die Kapazität zwischen dem Körper und den Elektroden abgestimmt, wobei neuerdings ein Servomotor die optimale Kopplung auf den Körper aufrecht erhält. Bewegt sich der Patient zwischen den Elektroden und verstimmt dadurch die Ankopplung, dann sucht der Servomotor über den Drehkondensator beinahe augenblicklich, die Resonanz wieder herzustellen. Der Servomotor erhält seine Information durch den Anodengleichstrom der Senderöhren (Fig. 1).

Mittelwellenchirurgie

Die Mittelwellenchirurgiegeräte dienen zum Koagulieren (Verkochen) und Schneiden des Gewebes. Damit auch unter Wasser, z. B. in der Harnblase, welche zu diesem Zwecke mit destilliertem Wasser angefüllt wird, geschnitten werden kann, darf die Frequenz 500 kHz nicht überschreiten. Als Generator dient ein Röhrensender und ein Funkenstreckensender, die einzeln oder parallel betrieben werden. Der Funkenstreckensender erzeugt ein breites Frequenzspektrum, was besonders bei Unterwasserschnitten von Vorteil ist.

Die Radartherapie

Um besser lokal erwärmen zu können, z. B. einzelne Gelenke, hat die Medizin begonnen, sich elektromagnetischer Wellen im cm-Gebiet, also um 3000 MHz herum, zu bedienen. Ein Bipol als Sender im Brennpunkt eines Reflektors erlaubt es, die Strahlung auf ein ziemlich eng begrenztes Gebiet zu richten. Zur Erzeugung der hochfrequenten Schwingungen wird ein Magnetron verwendet, dessen Leistungsabgabe ca. 50 W beträgt.

Ultraschalltherapie

Der Umstand, einen Quarz-Kristall mittelst Hochfrequenz zum Schwingen zu bringen, macht man sich bei der Ultraschalltherapie zunutze. Ein Röhrenschwingkreis erzeugt Schwingungen von 30...200 kHz, die einem Quarz-Kristall zugeführt werden. Dieser ist isoliert auf einer Membran angebracht, welche die Schwingungen über eine Schicht aus Kupplungsöl auf die menschliche Haut überträgt. Die übertragene Leistung schwankt je nach Behandlungsart zwischen 5 und 30 W, wobei die Übertragungsfläche ca. 20 cm² beträgt.

Elektroschocktherapie

Die Schocktherapie ist in der Psychopathologie schon lange bekannt als entspannende und heilende Massnahme. Um die risikoerhöhenden Begleiterscheinungen des medikamentösen Schocks zu umgehen, ist man vielerorts zum Elektroschock übergegangen.

Über Schlafenelektroden wird ein genau dosierter niederfrequenter Wechselstrom (50...60 Hz) durch den Schädel geführt, der den gewünschten Schock auslöst. Ein elektro-

nischer Zeitschalter regelt die Durchflusszeit zwischen 0,1 und 1,5 s. Die Intensität des Schocks wird durch das Produkt Zeit × Stromstärke bestimmt.

Impuls- und Interferenztherapie

Ein Nerv oder Muskel reagiert auf einen Stromstoß, der ihn durchfliesst mit einer Zuckung, mit der sog. Reaktionszuckung. Beim Vorhandensein einer Schädigung ist die Reaktionsfähigkeit der Muskulatur herabgesetzt oder im Extremfall ganz erloschen. Beim Vorhandensein einer Lähmung, z. B. nach einem Unfall, dauert es oft monatelang, bis der Patient seine Muskeln wieder aktiv betätigen kann. In dieser Zeit empfiehlt es sich, die inaktive Muskulatur mit elektrischen (meistens Gleichstrom-) Impulsen zu Kontraktionen zu zwingen, die eine Muskeldegeneration verhindern. Die Anstiegs- und Abstiegszeit, sowie auch die Dauer dieser Impulse sind von Wichtigkeit für das Verhalten des erkrankten Muskels.

Die Bestimmung aller Faktoren wird durch schaltungstechnische Massnahmen unter Verwendung üblicher Baulemente erreicht, wobei selbstverständlich Dioden, Trioden und Transistoren eine wichtige Rolle spielen.

Im weiteren hat die Impulstechnik ein breites Feld für die Erzeugung von anderen als rechteckigen Stromstößen. Exponentialimpulse, Sägezahnimpulse, an- und abschwellende Impulse usw. werden erzeugt, um mehr oder weniger bewiesene therapeutische Effekte zu produzieren.

Jeder Stromdurchtritt durch die Haut erzeugt bei Stromstärken von über 1 mA einen Reiz auf das sensible Nervensystem, sofern die Durchflussdauer länger ist als 80 µs. Kürzere Impulse werden von Patienten nicht mehr empfunden, sie lösen auch keine Reize mehr auf das motorische Nervensystem aus. Es ist daher verständlich, dass Hochfrequenzströme bis zu 5 A, wie sie früher in der sog. «Diathermie» durch den menschlichen Körper geschickt wurden, nur Joulsche Wärme, aber gar keine motorischen oder sensiblen Erscheinungen erzeugen, sofern die Frequenz 10...15 kHz überschreitet. Diesen Umstand macht man sich zunutze bei der «Interferenz-Therapie». Durch die Elektroden A – A (Fig. 2) wird ein Wechselstrom von ca. 20 kHz geschickt, der einen Wert von ca. 100 mA erreichen darf. Durch die Elektroden B – B fliesst ein Wechselstrom variabler Frequenz (19,8...20,2 kHz). Die Änderung der Frequenz ist regelbar. Beide Kreise schwingen bei gleicher Frequenz gleichphasig. Die Frequenzverschiebung des Kreises B führt am Schnittpunkt beider Ströme zu einer Interferenz, die zu einem an- und abschwellenden Strom führt. Wenn nun dafür gesorgt wird, dass der zu behandelnde Muskel oder Nerv im Schnittpunkt beider Stromkreise liegt, dann gelingt es, das Objekt zu Reaktionen zu bringen ohne dass der Patient «elektrisiert» wird, weil er ja an der Haut nichts spürt.

**Syncardiale Therapie
(Stautherapie)**

Fuchs hat eine Apparatur angegeben, die rhythmische Extremitä-

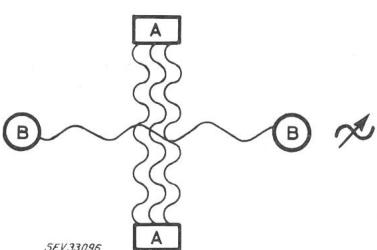


Fig. 2
Prinzip der Interferenztherapie
SEV33095

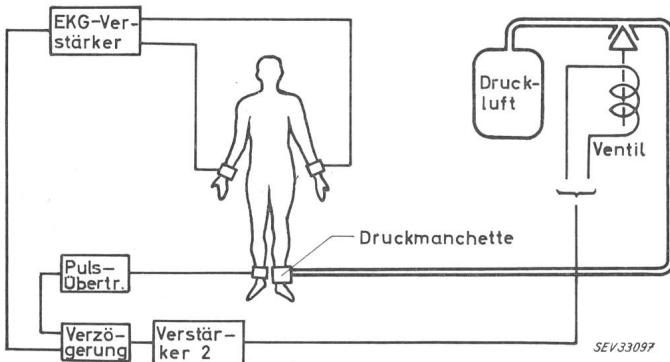


Fig. 3

Prinzipieller Aufbau einer Apparatur für die Stau-Therapie

tenstauungen erzeugt. Die einzelne Stauung wird über eine Verzögerungsvorrichtung durch das Elektrokardiogramm gesteuert in der Annahme, dass eine der peripheren Pulswelle aufgedrückte Stoss- bzw. Presswelle die Zirkulation verbessern werde.

Die Stauung wird durch eine Gummimanschette hervorgebracht, welche über elektrische Ventile die nötige Druckluft erhält (Fig. 3). Die aus dem Herz kommenden feinen elektrischen Impulse von der Größenordnung 1 mV werden verstärkt. Ein bestimmter Teil dieser Impulse wird herausgefiltert und weiterverstärkt. Sie dienen zur Steuerung der Zeitverzögerungsapparatur, welche ihrerseits über Relais die elektrischen Einlass- bzw. Auslassventile betätigt. Um den Zeitverzögerungsfaktor bestimmen zu können, wird von der Peripherie des Körpers eine Pulswelle abgenommen, die auf eine Kathodenstrahlröhre mit einer Marke verglichen wird, welche durch den Druckstoss der Manchette entsteht.

Röntgentherapie

Die Eigenschaft der Röntgenstrahlen ($\gamma = 0,01 \dots 4 \text{ A}$) Gewebe zu zerstören wird positiv für die Therapie von Krebskrankungen angewendet. Krebsgeschwülste reagieren heftig auf die gewebezerstörenden Eigenschaften der Röntgen-Strahlen. Um aber das zwischen dem Tumor und der Röhre liegende gesunde Gewebe möglichst zu schonen, wird der Strahl der Röntgenröhre in einer Pendelbewegung um den Tumor herum geschwenkt, wobei der Tumor genau im Drehpunkt der Röhre liegen muss (Fig. 4).

Für die Erzeugung der Röntgenstrahlen, vor allem aber für die Steuerung der Apparatur ist eine umfangreiche elektronische Einrichtung vorhanden. Es handelt sich darum,

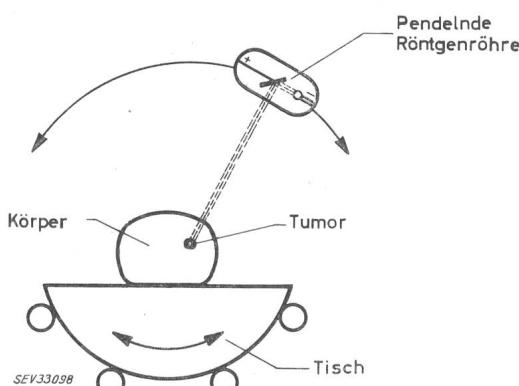


Fig. 4

Klassische Form der Röntgentherapie eines Tumors

hohe Spannungen und grosse Leistungen in exakten Zeitabschnitten, die besonders in der Röntgendiagnostik Bruchteile von Sekunden betragen können, reproduzierbar zu schalten.

Zu den therapeutischen Apparaten dürfen auch die sog. «Pacemaker» oder «Defibrillatoren», sowie die «Schrittmacher» gezählt werden.

Die *Defibrillatoren* sind Apparate, die mittelst löffelförmiger Elektroden Gleichstromstöße (oder auch einmalige niedrfrequente Wechselstromstöße) direkt an das freigelegte Herz abgeben, wenn dieses während einer Herzoperation zufolge einer Störung des automatischen Rhythmus ins «Flimmern» geraten ist. Diese zeitlich genau begrenzten Stromstöße werden meist über ein Tyratron gesteuert, das wiederum durch eine elektronische Zeitimpulseinrichtung dirigiert wird. Der Stromstoss, welcher in der Stärke bis zu 3 A das Herz durchfliesst, bewirkt in der Regel die Wiederkehr der automatischen normalen Herzkontraktion.

Die *Schrittmacher* sind Geräte, die ähnlich wie die Defibrillatoren entweder an das freigelegte Herz oder dann durch die Brustwand hindurch rhythmische Gleichstromimpulse abgeben, welche das Herz, wenn es nicht mehr richtig arbeitet, wieder in den physiologischen Rhythmus einspielen. Auch hier wird, meist mit einer transistorisierten elektronischen Einrichtung, die Impulsfrequenz, die Pausenlänge und die Stromstärke in den erforderlichen Grenzen gehalten. Für den Laien ist es interessant zu wissen, dass heute sogar mikrominiaturisierte Schrittmacher inkl. Batterien in den Thorax einoperiert werden, um nachher während zwei bis drei Jahren über feine Kabel, die an Platinelektroden enden, genau dosierte Stromstöße an das kranke Herz abzugeben. Bei der Adam-Stockschen Krankheit z. B. erlaubt ein im Körper einoperierter Schrittmacher dem Patienten ein normales Leben, wogegen er ohne diese Apparatur in ständiger Todesangst und Lebensgefahr wäre.

2. Diagnostik

Die Elektronik spielt in der Diagnostik eine ungleich wichtigere und umfangreichere Rolle als in der Therapie. Aus der grossen Auswahl diagnostischer Methoden seien die folgenden näher betrachtet:

Muskelprüfung mit galvanischen Impulsen;
Chronaxie-Messung;
Elektrokardiographie;
Herzschalladiagnostik und fetale Kardiophonie;
Sphygmographie, Pulsosclilographie;
Elektromanometrie;
Elektroenzephalographie;
Rheographie;
Retinographie;
Nystagmographie;
Gasanalyse (CO_2 und O_2);
Röntgendiagnostik, Bildverstärker;
Elektronenmikroskopie;
Isotopendiagnostik;
Elektrophorese;
Messung der Wasserstoffionenkonzentration und des Druckes im Magen-Darmtrakt mit verschluckbaren Sendern;
Cardioscope;
Bandrecorder;
Datenverarbeitung;
Lungenfunktionsmessung;
Myographie;
Kymographie;
Thermodilution.

Für die *Muskelprüfungen* mit galvanischen Impulsen macht man sich den Umstand der Sensibilität von Nerven

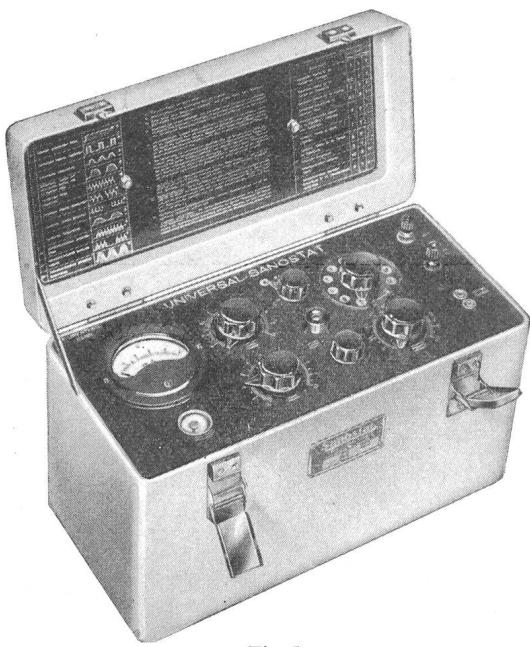


Fig. 5
Apparat für die Elektrotherapie und die Diagnostik

und Muskeln auf elektrische Potentialschwankungen zu nutzen. Ein Einschaltstromstoss von 3...4 mA, über nasse Elektroden durch die Haut eingeführt, bringt den gesunden Muskel zu einer Reaktionszuckung, die aber sofort wieder abklingt, auch wenn der Strom weiter fliesst. Der kranke Nerv bzw. der kranke Muskel reagiert erst auf wesentlich höhere Ströme oder, wenn schon eine teilweise Degeneration der Muskulatur vorhanden ist, zusätzlich noch mit einer verzögerten Anstiegs- und Abfallzeit liefern. Die Entartungsreaktion.

Apparaturen für solche Prüfungen (Fig. 5), müssen einen ganz reinen Gleichstrom abgeben, exakte Rechteckimpulse erzeugen und, in besonderen Fällen, auch Impulse mit definierter verzögerte Anstiegs- und Abfallzeit liefern. Die Elektronik hierzu ist recht einfach.

Anders verhält es sich bei den *Elektrokardiographen*. Die ständige Entwicklung neuer Untersuchungsmethoden auf dem Gebiet der Herz- und Kreislaufdiagnostik und der Bedarf an qualifizierten Registriergeräten auch ausserhalb dieser Sparte in der Medizin (Myographie, Gasanalyse, Retinographie usw.) mobilisierte einen Bedarf an immer bes-



Fig. 6
Dreikanal-Elektrokardiograph (Direktschreiber)

seren, schnelleren, leichteren und trotzdem umfangreicheren Registriereinrichtungen. An Stelle der photographischen Registrierung wird heute meist die Aufzeichnung mit direktschreibenden Oszilloskopographen vorgezogen (Fig. 6).

In der Medizin umfasst der Frequenzumfang der zu registrierenden Vorgänge 0...400 Hz. Höhere Frequenzen interessieren nur ganz ausnahmsweise. Der Verstärkfaktor bei Elektrokardiographie-Verstärkern beträgt bis zu 100 000. Die Anschlussverhältnisse am menschlichen Körper sind unstabil, oft ziemlich hochohmig und die physiologischen Spannungen werden gestört durch symmetrische und unsymmetrische Störspannungen.

Die Verstärker werden in der Regel als Differenzverstärker aufgebaut. Sie sind heute noch grösstenteils mit Röhren bestückt, einerseits weil die Eingangsimpedanz sehr hoch sein muss (bis $50 \text{ M}\Omega$) und andererseits, weil solche Verstärker bei der kleinsten Veränderung eines Transistors wesentlichen Abweichungen von der Norm unterworfen sind.

Ohne die modernsten elektronischen Hilfsmittel wären viele Untersuchungsmethoden bei der Herz- und Kreislaufdiagnostik gar nicht realisierbar. So erlauben es z. B. volltransistorisierte Trägerfrequenzverstärker den Herzinnendruck zu messen. Zu diesem Zweck wird durch eine Armvene, unter ständiger Kontrolle seiner Lage durch einen Röntgenbildverstärker ein feiner Katheter bis in das Herz hinein geschoben. Ausserhalb des Körpers endigt der Katheter in einem sog. Transducer, einem Manometer, das die



Fig. 7
Messbrücke mit volltransistorisiertem Trägerfrequenzverstärker

Durchbiegung einer Membrane auf feine, gespannte Drähte überträgt. Diese dehbaren Drähte sind die Zweige einer Messbrücke. Jeder Druckschwankung im Herzen entspricht eine proportionale Widerstandsänderung der Brückenzweige. Mit der Meßspannung von 5000 Hz werden diese Widerstandsänderungen in entsprechende Stromänderungen umgewandelt. Nach erheblicher Verstärkung und nachfolgender Gleichrichtung wird die dem Herzinnendruck proportionale Gleichspannung in den Gleichstrom-Eingang eines Elektrokardiographen hineingegeben und registriert (Fig. 7).

Ebenfalls mit dem Elektrokardiographen aufgezeichnet wird der sog. Herzschall. Dieser Schall, bzw. diese Geräusche entstehen an den Klappen, aber auch an anderen Stellen des Herzens. Der Schall wird an der Brustwand durch ein piezoelektrisches Mikrofon aufgenommen, verstärkt und über verschiedene Hochpassfilter dem Kardiographen zugeführt. Parallel dazu wird in der Regel ein Elektrokardiogramm und eine Pulswelle aufgezeichnet. Die feinen Hautbewegungen, die der Puls z. B. an einem Finger oder an einer Zehe verursacht, werden mittelst hochempfindlicher Adaptoren abgenommen. Diese Adaptoren, meist kompressible, elastische Kondensatoren übertragen die entstehenden kleinen Spannungsschwankungen über eine Impedanzwandleröhre auf den Wechselstrom-Eingang des EKG-Verstärkers.

Für die Hörbarmachung des Herztones der ungeborenen Kinder im Mutterleib wird ein spezieller Apparat, Cardiophon genannt, gebaut. Der Herzschall des Fötus wird an der Bauchdecke der Mutter mit einem piezoelektrischen Körperschallmikrofon abgenommen, ein spezielles Tonspektrum herausfiltriert und diese Schwingungen auf eine Frequenz von 400 Hz moduliert. Dadurch ist es möglich, Rückkopplungen vom Lautsprecher auf das Mikrofon zu verhindern und die hohen Verstärkungsgrade einzustellen, die in diesem Falle erforderlich sind.

Ein weiteres Gebiet mit schwierigen elektronischen Problemen ist die sog. Encephalographie. Unter Elektroencephalographie versteht man die Abnahme, Verstärkung und Registrierung von Gehirnströmen. Alle Lebensfunktionen im Gehirn werden durch elektrische Impulse manifestiert. Diese Impulse bzw. Schwingungen weisen Grundfrequenzen zwischen 0,5 und 30 Hz auf, welche mehr oder weniger regelmässig ablaufen (Fig. 8).

Bei Krampzfällen des Gehirns und bei Emotionen können «Schauer» von rascheren Schwingungen mit meist vergrösserten Amplituden beobachtet werden. Im Schlaf und vor allem in der Narkose sind die Schwingungen weniger lebhaft.

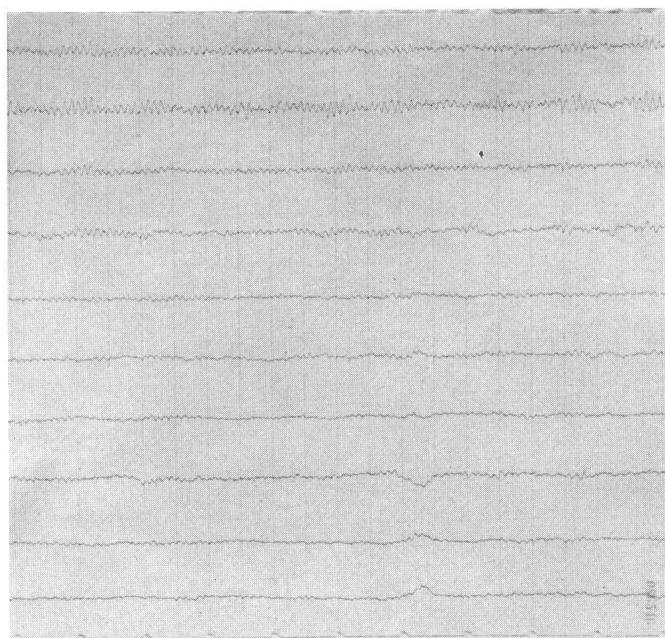


Fig. 8
Elektroenzephalogramm

Die durchschnittliche Amplitude der Electroenzephalogramme (EEG) beträgt 50 μ V. Daher ist zum Aufzeichnen dieser Kurven mit einem direktschreibenden Oszillographen eine Verstärkung bis zu 1 : 1 000 000 erforderlich. Als Elektroden dienen kleine Silberplättchen, die symmetrisch verteilt an der Schädelhaut angeklebt oder angedrückt werden.

Zufolge der relativ unstabilen Kontaktverhältnisse an der Schädelhaut müssen die Verstärker regelbare Glieder aufweisen, die es erlauben, Zeitkonstanten zwischen 50 und 1000 ms einzustellen. Diese kleinen Zeitkonstanten machen die rasche Eliminierung von schwankenden elektrolytischen Potentialen an den Übertragungsstellen der Elektroden zur Haut möglich, deformieren aber unter Umständen die EEG-Potentialkurven. Dies wird auch die Ursache dafür sein, dass die Auslegung der EEG-Kurven nicht immer leicht und schlüssig ist.

Auf ähnlichen physiologischen Grundlagen basiert die Myographie, d. h. die Registrierung von Muskelaktienströmen. Die Ableitung der feinen Spannungen wird entweder an der Haut über dem Muskel, oder dann mit isolierten Nadelelektroden, die direkt in den Muskel eingeführt werden, gemacht. Die Verstärkungs- aber auch die Interpretationsprobleme sind ähnlich wie bei der Elektroenzephalographie.

Eine neuere Untersuchungsmethode der generellen Durchblutung der Extremitäten und des Schädels, Rengeographie genannt, wird angewendet, um die Durchblutungsverhältnisse des kapillaren Kreislaufsystems darzustellen. Blut ist ein sehr guter elektrischer Leiter. Zwischen dem Beginn und dem Maximum der Pulswelle füllt oder entleert sich das Kapillarsystem im Rhythmus der Pulsfrequenz. Damit verbunden ist eine Änderung des elektrischen Widerstandes der untersuchten Körperpartie. Diese Widerstandsänderung wird mit Elektroden untersucht, die zum Beispiel einen Unterschenkel in einem Abstand von einigen Zentimetern ringförmig umschließen. Durch die Elektroden fliesst ein Meßstrom von ca. 3000 Hz, der eine Brückenschaltung speist. Die gemessenen Widerstandsänderungen liegen zwischen 0,01 und 0,1 Ω bei einem durchschnittlichen Querwiderstand von 200 Ω .

Eine weniger bekannte aber trotzdem erwähnenswerte diagnostische Untersuchungsmethode ist die Retinographie. Die Retina, d. h. die Hornhaut des Auges wird mit einer durchsichtigen Elektrode überdeckt, deren Inneres mit Kochsalzlösung unter leichtem Überdruck angefüllt ist. Die Gegenelektrode wird am Nacken befestigt. Fällt nun durch diese Elektrode ein Lichtimpuls, dessen Dauer und Intensität definiert ist, dann antwortet der Nervus opticus mit einem Spannungsstoß von ganz bestimmter Form. Dieser Spannungsstoß wird ca. 100 000fach verstärkt und mit dem schon wiederholt erwähnten direktschreibenden Oszillographen eines Elektrokardiographen registriert. Krankhaften Veränderungen des Auges entsprechen veränderte Kurven, aus deren Form, Anstiegszeit, Amplitude und Abfallzeit interessante diagnostische Schlüsse gezogen werden können.

Ebenfalls am Auge können bestimmte Veränderungen des zentralen Nervensystems getestet werden. Dies geschieht mit der Nystagmographie; der Vorgang am Auge wird Nystagmus genannt.

Der Patient sitzt auf einem Drehstuhl, der nach rechts und nach links mit einstellbarer Geschwindigkeit innerhalb eines veränderlichen Drehwinkels bewegt wird. Aus der Mittelstellung dieses Drehstuhles fixiert der Patient geradeaus eine Marke an der Wand, die er auch bei Drehung des Stuhles immer im Auge behält. Mit Schläfenelektroden wird die bei der Drehung des Augapfels (Bulbus) entstehende Spannung abgenommen und ca. 100 000fach verstärkt. Bei der Drehung der untersuchten Person nach links entstehen negativ gepolte Ausschläge, bei der Drehung nach rechts sind sie positiv gerichtet. Auch hier wird wieder die Diagnose nach Form und Zeitdauer der Kurven, wobei allfällige Unsymmetrien von besonderer Bedeutung sind, vorgenommen.

Von grosser Wichtigkeit in der Medizin ist die Feststellung der Sauerstoffsättigung im Blut, die sog. Oxymetrie.

Das sauerstoffgesättigte Blut absorbiert Rot- und Infrarotlicht anders als sauerstoffarmes Blut. Mit Photozellen arbeitende Oxymeter sind ziemlich verbreitet, obschon die Messung zeitraubend ist und grosse Gründlichkeit erfordert. Die Messung erfolgt je nach dem Zweck und Umfang der Untersuchung auf zwei Arten, nämlich unblutig und blutig. Die unblutige Messung benutzt das Ohrläppchen als Indikator, die blutige Methode eine kleine Glascuvette durch die arterielles Blut fliesst. Mehrere in Serie geschaltete Photozellen liegen in einer Brückenschaltung an einem einstufigen Gleichstrom-Verstärker, dessen Ausgangsspannung an einem Messinstrument abgelesen wird.

Ausser dem Sauerstoff im Blut wird auch der Sauerstoff sowie der Kohlensäureanteil der Atemluft mit Spezialapparaturen gemessen.

Eines der diagnostischen Gebiete mit dem grössten apparativen Aufwand ist die Röntgendiagnostik. Die Härte bzw. die Wellenlänge der Röntgenstrahlen ist abhängig von der Höhe der an der Röntgenröhre angelegten Spannung, die bis 200 kV betragen kann (Fig. 9).

Die Energie der auf dem (möglichst kleinen) Brennfleck aufprallenden Elektronen ist so gross, dass beim Einsatz hoher Spannungen an älteren Röhren nach kurzer Zeit ein Krater in die Anode gebrannt wurde, was natürlich sofort zu einer diffusen Streuung der reflektierten Röntgenstrahlen führte. Man fand einen eleganten Ausweg, indem man die Antikathode kegelförmig macht und diesen Kegel in rasche Rotation versetzt, wodurch sich die Energie des Brennfleckes auf eine ringförmige Reflektionszone verteilt. Heute beträgt die Lebensdauer einer Röntgenröhre oft Tausende von Betriebsstunden.

Der Schalttisch einer modernen Röntgenanlage weist als wichtigsten elektronischen Teil den Zeitschalter für Schalt-

zeiten zwischen 0,001 und 10 s auf. Die Verriegelungseinrichtung, welche die Schaltzeit in Abhängigkeit zur eingesetzten Hochspannung und Belastung bringt, arbeitet meistens mechanisch. Ansätze zur elektronischen Lösung dieses Problems sind vorhanden¹⁾.

Für viele modernen Untersuchungen, die oft von längerer Dauer sind, müssen Röntgengeräte gebaut werden, deren Strahlenintensität zur Schonung des menschlichen Körpers wesentlich schwächer ist. Dieser Forderung entsprechen die sog. *Röntgen-Bildverstärker*. Trotz schwächerer Strahlenintensität gelingt es, helle und kontrastreiche Bilder der Struktur des Körperinnern zu erhalten, wobei neben der Dosisverkleinerung und der Möglichkeit, das Röntgenbild auf einem Fernsehschirm zu betrachten ein weiterer ganz wesentlicher Vorteil des Bildverstärkers genannt werden muss; der Arzt braucht keine Adaptionsbrille mehr¹⁾.

Eine der neuesten diagnostischen Methoden, welche erst durch den Betrieb von Reaktoren zu praktischer Bedeutung kam, ist die *Isotopendiagnostik*. Radioaktive Isotopen, in Reaktoren durch längeren Neutronenbeschuss erzeugt, werden in kleiner unschädlicher Menge z. B. in die Blutbahn eines Patienten gebracht. Einige Elemente haben nun die Tendenz, sich in gewissen Organen anzureichern, so z. B. Jod in den Schilddrüsen, Phosphor und Magnesium in den Knochen usw. Ein Apparat führt ein Geiger-Müller-Zählrohr in einer einem Zeilenraster ähnlichen Bewegung über den Körper und registriert gleichzeitig auf einem Blatt mit einem Schlagschreiber die Verteilung und Intensität des Isotops. Das Zählrohr wirkt auf einen Kondensator, dessen Aufladungsstöße ein Mass für die Intensität der Strahlung sind. Jeder Stoss wird verstärkt. Die Kadenz der Ladungsstöße ist ein Mass für die Anreicherung der radioaktiven Isotope.

Ein Wunderwerk moderner Elektronik und zugleich ein Erzeugnis höchster Präzision ist das *Elektronenmikroskop*. Das Objekt, meist ein sehr dünner Schnitt der zu untersuchenden Präparate wird im Vakuum von einem Elektronenstrahl getroffen. Die Wellenlänge dieser Elektronen ist ca. 5000mal kürzer als die des Lichtes, folglich können theoretisch 5000mal kleinere Teile noch elektronenoptisch erfasst werden. In der Praxis kommt man heute mit der optischen Nachvergrösserung von photographischen Bildern des Elektronenmikroskops auf eine ca. dreihundertfach höhere Vergrösserung als mit dem Lichtmikroskop.

Der Elektronenfluss im Elektronenmikroskop unterliegt ähnlichen Beugungs- und Ablenkungsgesetzen wie der Lichtfluss in einem gewöhnlichen Mikroskop. An Stelle von Glaslinsen treten magnetische «Linsen», d. h. magnetische Felder, die so aufgebaut sind, dass sie Elektronen fokussieren können. Zur Sichtbarmachung der elektronisch vergrösserten Bilder dient zuletzt ein Leuchtschirm.

Die Tatsache, dass Ionen und Moleküle unter dem Einfluss in einem Elektrolyten wandern, wird zu einer verbüffend einfachen, wie auch wirkungsvollen Diagnose auf dem Gebiet der Eiweißstoffe benutzt. Die Vielzahl der Eiweißmoleküle verhalten sich zufolge ihres verschiedenen Molekulargewichtes bei der *Elektrophorese* verschieden, d. h. sie bewegen sich im Potentialgefälle mit verschiedener Geschwindigkeit. Ein Streifen aus Fliesspapier wird mit einer speziellen leitenden Flüssigkeit nass gemacht. Der Anfang

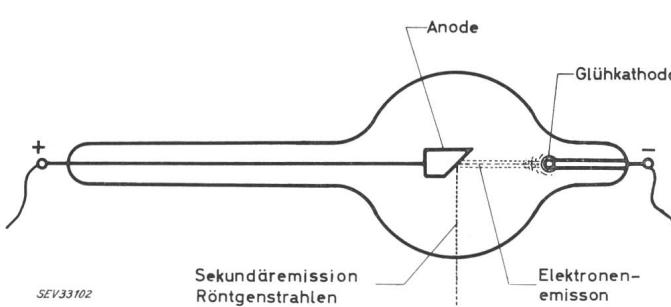


Fig. 9
Prinzipschema einer Röntgenröhre

¹⁾ vgl. Bull. SEV 53(1962)26, S. 1261...1268.

des Papierstreifens taucht in die zu untersuchende Lösung, welche gleichzeitig Elektrode ist. Das Streifenende wird an der zweiten Elektrode angebracht. Sobald der Strom fliesst, beginnen die Eiweissmoleküle im Fliesspapier aufzusteigen. Das Resultat der oft über Stunden sich hinziehenden Eiweiss-elektrophorese ist eine Separierung der verschiedenen Eiweissgruppen, ersichtlich am horizontalen Streifen, einem Spektrum ähnlich. Durch Einfärben mit Farbstoffen wird der Kontrast dieses Molekularspektrums wesentlich erhöht. Dank dieser Methode ist es möglich, die in Körperflüssigkeiten vorhandenen Eiweißstoffe zu analysieren.

Eine weitere originelle Messmethode ist die *drahtlose Fernübertragung des peristaltischen Druckes*, sowie der Wasserstoffionenkonzentration im Magen-Darm-Trakt. Der Patient verschluckt eine kleine Kapsel, die einen transistorisierten Sender enthält. Der Sender wird durch den pH-Geber und durch einen druckempfindlichen Geber moduliert. Während die kleine Senderkapsel Magen und Darm passiert, werden ihre ausgestrahlten Wellen ausserhalb des Körpers mit einem Empfänger aufgenommen, verstärkt, demoduliert und registriert.

Oft wünscht ein Arzt einen Vorgang nicht zu registrieren, sondern blass an einem stillstehenden Kurvenbild zu betrachten. Hiezu eignen sich *Kathodenstrahlzoszillographen* (KO) am besten. Der Eingang des KO wird zum Schreiboszillographen parallel geschaltet. Der Elektrokardiograph verstärkt den physiologischen Vorgang soweit, dass ein einstufiger Verstärker im KO genügt. Während der Betrachtung eines Vorganges am KO wird selbstverständlich der Papiertransport des Elektrokardiographen nicht eingeschaltet.

In neuerer Zeit werden Elektrokardiogramm, arterieller Druck usw. während einer Operation dauernd mit einem speziellen *Bandregistriergerät* aufgezeichnet. Im Falle einer Komplikation ist es möglich, die Begleitumstände mit einem Schreibgerät später aufzuzeichnen. Diese oft mehrspurigen Bandregistriergeräte speichern die gemessenen Werte mit modulierten Tonfrequenzen, wodurch es möglich wird, physiologische Vorgänge zwischen 0 bis 500 Hz zu registrieren.

Auch die *Datenverarbeitung* hat in der Medizin Eingang gefunden. So werden beispielsweise für bestimmte nicht leicht zu diagnostizierende Krankheiten von allen Fällen, die behandelt worden sind, die genauen Umstände in einer Datenverarbeitungsmaschine gespeichert. Zu diesen Umständen gehören die Lebensform des Patienten, die Symptome der Erkrankung, die Reaktion auf Medikamente usw. Später, nachdem die Maschine mit genügend Resultaten abgeklärter Fälle gespeist worden ist, wird es möglich sein, den Vorgang umzukehren und die Maschine an Hand der äusserlich erkennbaren Symptome, sowie der Resultate von Laboruntersuchungen zu befähigen, aus dem gespeicherten Erfahrungsschatz heraus Diagnosen zu stellen. Diese Möglichkeit ist sehr ernst zu nehmen; in einigen Jahren wird es vielleicht Zentren geben, die auf Grund eingehender Fragebögen in der Lage sind, in schwierigen Fällen Diagnosen zu stellen oder doch mindestens eine engere Eingrenzung der möglichen Art und Ursache einer Erkrankung zu vollziehen.

Adresse des Autors:

F. Liechti, c/o Fred Liechti AG, Paracelsusstrasse 1, Bern-Ostermundigen.

Miniaturisierung elektronischer Schaltungen mit Einzelbauelementen

Von E. Assmann, München

621.38 - 181.4

Es wird ein kurzer Überblick über die wesentlichsten, heute bekannten Verfahren zur Miniaturisierung elektronischer Baugruppen gegeben. Diese Verfahren haben alle ihre besonderen Vorteile, aber auch ihre Grenzen. Daher behauptet die Bauweise mit konventionellen Bauelementen heute noch in den meisten Anwendungen ihre Stellung. Auch für die Zukunft bietet diese noch manche Entwicklungsmöglichkeit. Dies wird an Beispielen eines neuartigen Zusammenbau- und Kontaktierungsverfahrens, der Simiblock-Bauweise, gezeigt, bei der in wirtschaftlicher und vielgestaltiger Form sehr kleine Baugruppen mit konventionellen Bauelementen hergestellt werden können.

1. Einleitung

Für fast die gesamte industrielle Elektronik können drei Grundforderungen als Richtlinien der Entwicklung angegeben werden:

Rationeller bauen,
zuverlässiger bauen (reliability) und
kleiner bauen.

Die erste Forderung ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit für den Techniker, soweit es die Herstellung der Geräte betrifft. Hier sei jedoch unter diesem Punkt auch das Bemühen um eine bessere Ausnutzung der Geräte im Betrieb verstanden, z. B. durch Übertragung breiterer Frequenzbänder bei Richtfunkverbindungen usw. Die Betriebszuverlässigkeit elektronischer Geräte hängt wesentlich ab von der Anzahl der verwendeten Bauelementen und deren Ausfallwahr-

scheinlichkeit. Jedes Bauelement, auch so einfach scheinende wie ein Widerstand oder Wickelkondensator, ist ein chemisch, physikalisch und technologisch recht kompliziertes Gebilde, das im Betrieb einer Vielzahl von äusseren Einwirkungen ausgesetzt ist. Angaben über seine Lebensdauer sind daher nur statistisch auf Grund von Grosszahl-Versuchen möglich. In einer stark vereinfachenden Annahme kann man für elektronische Bauelemente eine konstante statistische Fehlerrate p angegeben z. B. in x Prozent Ausfällen pro 1000 h Betriebszeit, definieren. Unter der wiederum vereinfachenden Annahme einer für alle n Bauelemente eines Gerätes gleichen Fehlerrate p und Ausfall des Gerätes bei Ausfall eines Bauelementes erhält man für die mittlere fehlerfreie Betriebszeit t des Gerätes den Ausdruck:

$$t = \frac{1000}{np} \quad [h]$$