

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

Band: 67 (1976)

Heft: 21a: Sondernummer Elektrotechnik 1976 = Edition spéciale Electrotechnique 1976

Artikel: Elektronische Bauelemente

Autor: Deak, M. / Rüegg, H. / Winiger, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915225>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

Elektronische Bauelemente

Von M. Deak, H. Rüegg und F. Winiger

621.38

1. Einleitung

Das breite und sich in rascher Entwicklung befindende Gebiet der elektronischen Bauelemente lässt sich auf dem hier zur Verfügung stehenden Raum nicht vollständig behandeln. Es musste notwendigerweise eine Auswahl sowohl hinsichtlich der zu erwähnenden Teilgebiete als auch der relativen Gewichtung verschiedener Neuentwicklungen innerhalb dieser Teilgebiete getroffen werden. Eine solche Auswahl kann kaum je den Anspruch darauf erheben, vollkommen objektiv zu sein. Die Autoren haben dies deshalb gar nicht angestrebt, sondern bewusst Entwicklungen, die entweder in der Schweiz vor sich gehen oder für die Schweizer Industrie von besonderer Bedeutung sind, stärker hervorgehoben.

2. Passive Komponenten

Wie bei aktiven Komponenten (Röhren, Halbleiter usw.) besteht bei den passiven Komponenten (Widerstände, Potentiometer, Kondensatoren, Ferromagnetika) der ausgeprägte Trend nach kleineren Dimensionen bei verbesserter Zuverlässigkeit. Im allgemeinen vollziehen sich diese Entwicklungen nach langwieriger technologischer und fabrikatorischer Forschung ohne sensationelle Schritte. Der Fortschritt ist meistens nur für den Spezialisten erkennbar.

So zeichnet sich z. B. auf dem Gebiet der Kleinwiderstände die Tendenz ab, die altbewährten Kohleschichtwiderstände durch Metallfilm- oder Metalloxidwiderstände zu ersetzen, da letztere zufolge neuerer Fabrikationsmethoden heute annähernd zum selben Preis hergestellt werden können, jedoch eine bessere Stabilität aufweisen. Oder bei drahtgewickelten Leistungswiderständen kann neuerdings die schwierig aufzubringende äussere Chromoxidemaille durch eine leicht aufspritzbare Silikonmasse ersetzt werden.

Bei den Kondensatoren zeichnet sich eine Ablösung der Polystyrolfolie durch den neuen, temperatur- und feuchtigkeitsbeständigeren Kunststoff Polypropylen ab. Der Schritt zu besserer Zuverlässigkeit kann wohl am deutlichsten bei den Aluminium-Elektrolytkondensatoren gezeigt werden, die vor wenigen Jahren noch als unzuverlässig galten und deshalb vielfach für professionelle Anwendungen nicht in Frage kamen. Heute ist die Zuverlässigkeit solcher Kondensatoren derjenigen anderer Bauelemente ebenbürtig.

Bedingt durch den Trend zur Leistungssteigerung und zur Miniaturisierung elektronischer Komponenten, werden die Anforderungen an Dauermagnete ständig gesteigert. Eine wesentliche Verbesserung der magnetischen Kennwerte der konventionellen Dauermagnet-Werkstoffe wie Alnico, Barium- bzw. Hartferrite ist aber kaum zu erwarten. Aus diesem Grunde sind neue hartmagnetische Materialien aus den intermetallischen Verbindungen von Seltenen Erden und Kobalt entwickelt und z. B. unter dem Namen RECOMA® auf den Markt gebracht worden. Sie besitzen ein hohes Koerzitivfeld, ein grosses Energieprodukt, eine hohe Remanenz, thermische Stabilität und sind gut bearbeitbar (Fig. 1). Die neuen Magnete werden vorteilhaft dort eingesetzt, wo ein maximales Energieprodukt bei begrenzten Volumen- und/oder Gewichtsverhältnissen oder aber eine gerade Entmagnetisierungskurve gefordert wird.

3. Elektronenröhren

Seit die stürmische Entwicklung der Halbleitertechnik begann, hat sich die Bedeutung der Elektronenröhren gewandelt. Nach anfänglicher Konkurrenz ist der Strukturwandel von der Röhre zum Halbleiter bereits weitgehend abgeschlossen, und es ist eine Arbeitsteilung zwischen beiden Komponenten entstanden. Vorderhand bleiben die niedrigen Leistungen den Halbleitern vorbehalten, wogegen die Röhren für die Nachrichtenverarbeitung auf höherem Leistungsniveau bei höheren Frequenzen nach wie vor unersetzlich sind. Dementsprechend verliert die Empfängerröhre mehr und mehr an Bedeutung. In den heutigen Rundfunk- und Fernsehgeräten wurde sie bereits durch Transistoren und IC ersetzt.

Bei der Senderöhre geht der Trend in Richtung Leistungssteigerung. Für Rundfunkzwecke verwendet man heute fast ausschliesslich Hochleistungstetroden, womit Sendeleistungen von 1...2 MW mit einem hohen Wirkungsgrad, vollautomatischer Abstimmung und einer einzigen Leistungsstufe in einem kleinen Volumen erreicht werden können (Fig. 2). In HF-Generatoren für industrielle Erwärmung werden nach wie vor Trioden bevorzugt, insbesondere für höhere Leistungen und höhere Arbeitsfrequenzen. Für Frequenzen unter 50 kHz werden bereits Halbleiter eingesetzt. Auch bei den Trioden geht der Trend in Richtung Leistungserhöhung und Vergrösserung des Leistungs/Volumen-Quotienten.

Die gas- und/oder dampfgefüllten Gleichrichterröhren werden sowohl in der Nachrichtentechnik als auch in den

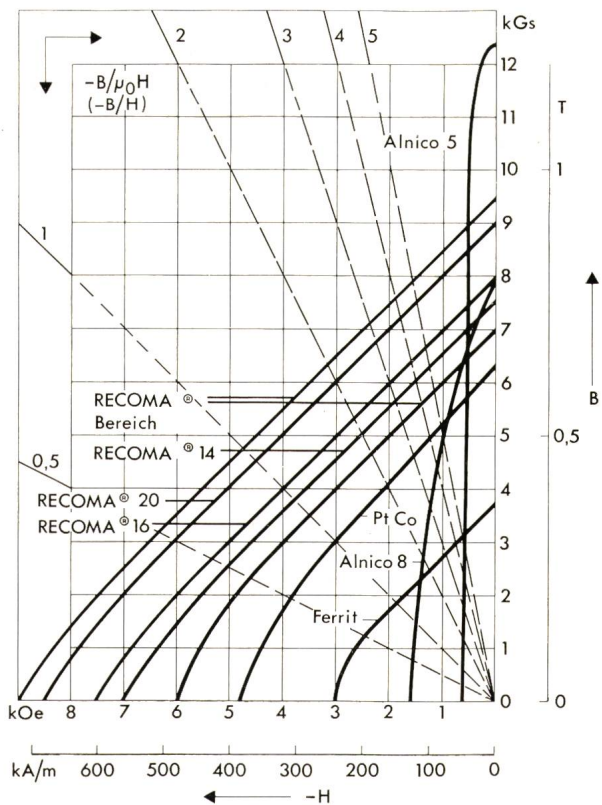


Fig. 1 Entmagnetisierungskurven von RECOMA®-Hartmagneten im Vergleich zu konventionellen Magnetmaterialien

industriellen Anwendungen allmählich durch Halbleiter ersetzt. Bei höheren Spannungen und Strömen hingegen hat die altbewährte Gleichrichterröhre mit Quecksilberfüllung immer noch ihre Daseinsberechtigung.

Auf dem Sektor der Bildröhre für Fernsehgeräte – schwarz-weiss wie auch farbig – beherrscht die Kathodenstrahlröhrentechnik das Feld. Das heute benützte Lochmaskenprinzip wird in den nächsten Jahren kaum durch andere Technologien ersetzt werden können, obwohl es an Anstrengungen nicht fehlt, einen neuen Weg zu finden (z. B. in Flüssigkristalltechnologie). Für einfache alphanumerische Anzeigen sind weiterhin gasgefüllte Zellen in Anwendung.

Bei den Bildaufnahmeröhren ist das Plumbicon immer noch die modernste Lösung, und es dürfte noch einige Zeit dauern, bis reine Halbleiterelemente, z. B. nach dem CCD-Prinzip (siehe Abschnitt 4), industrielle Bedeutung erlangen.

Der Entwicklungstrend von Kathodenstrahlröhren geht eindeutig in Richtung höherer Schreibgeschwindigkeiten, z. B. zur Darstellung von ns-Impulsen.

Photovervielfacher zeigen den Trend nach höherer Geschwindigkeit (1...2 ns) und nach preisgünstigen Ausführungen, um mit ganzen «Arrays» die Messtechnik in der Kernphysik zu verbessern und zu rationalisieren.

Die heute hochentwickelte Elektronenröhrentechnologie wird ferner in der Entwicklung und Fertigung neuer Produkte, wie Laser, Vakuumschalter, UV-Strahler, Lampen usw., eingesetzt.

Der Schwerpunkt in der Anwendung von Mikrowellenröhren hat sich auf die hohen Leistungen im GHz-Bereich verlagert. Dank ihrer idealen Übertragungscharakteristik werden Wanderfeldröhren in der Weltraumtechnik, in troposphärischer Streuübertragung, im Richtfunk, aber auch im Radar vermehrt eingesetzt. Ausser in der Radartechnik finden Magnetrons breite Anwendungsmöglichkeiten in Mikrowellenöfen für den Haushalt und für die Industrie. Dank fortgeschrittener und durchrationalisierter Fertigungstechnologie konnten die Preise dieser Röhrentypen in den letzten Jahren erheblich gesenkt werden. In Fernsehsendern für

Band IV und V sowie in vielen Radaranlagen arbeitet man vorzugsweise mit Hochleistungsklystrons. Bei kleineren Leistungen werden die Mikrowellenröhren durch GUNN-Dioden, Leistungstransistoren und Halbleiteroszillatoren ersetzt.

4. Fortschritte in der Halbleitertechnologie

In den letzten Jahren haben Fortschritte in den Halbleiter-Grundtechnologien zu neuen Möglichkeiten geführt. Ferner wurden die an sich bekannten Grundprozesse zu neuen Strukturen, vor allem für integrierte Schaltungen, kombiniert. Zu den Grundtechnologien sind nach wie vor die Herstellung von reinen Kristallen als Basismaterial, dessen Dotierung mit Fremdatomen, das Wachstum von kristallinen und amorphen Schichten auf den Halbleiteroberflächen, die photolithographische Maskierungstechnik, die Ätztechnik und die Herstellung verbindender metallischer Schichten auf der Oberfläche des Halbleiters zu zählen. Alle diese Prozesse sind in den letzten Jahren in bezug auf ein verbessertes Verständnis für verschiedene Störeffekte weiterentwickelt und perfektioniert worden.

Eine starke Verbesserung der Silizium-Kristall-Technologie hinsichtlich des Ausgangsmaterials wie auch der Verhinderung von nachträglich eingeführten Kristalldefekten war für die Realisierung von besseren bipolaren Elementen, wie z. B. Hochleistungsdioden, Thyristoren, Transistoren mit sehr hoher Stromverstärkung usw., absolut notwendig. Die weitgehende Vermeidung von Verschmutzungseffekten an den Oberflächen führte direkt zu höheren Zuverlässigkeiten und war Voraussetzung für die Herstellung von beispielsweise MOS-Transistoren mit tiefen Schwellspannungen.

Bei den Dotierungstechniken brachte die Einführung der Ionenimplantation als zusätzlicher Prozess zur bekannten Diffusion neue Möglichkeiten, wie eine genauere Fremdatom-Dosierung, versenkte dotierte Schichten und reproduzierbare Schichten von sehr geringer Konzentration. Erst die Ionenimplantation machte n-Kanal-MOS-Schaltungen, CMOS-Uhrensaltungen und moderne Mikrowellenhalbleiter praktisch realisierbar.

Die Fortschritte in der Abscheidung von dünnen kristallinen (Epitaxie) und amorphen (z. B. SiO_2 , Si_3N_4) Schichten gestatteten es, neue Strukturen für schnellere und leistungsärmere Schaltungen zu realisieren. So konnte z. B. durch die Anwendung der Silizium-Nitrid-Passivierung die Oxydation des Siliziums örtlich so unterbunden werden, dass einzelne Elemente einer integrierten Schaltung mit Oxid als Isolation umgeben werden können (local oxidation, planox, isoplanar). Auf diese Art konnte einerseits das Hochfrequenzverhalten verbessert, andererseits auch der Flächenbedarf von bipolaren und MOS-Schaltungen reduziert werden (Fig. 3).

In der Photo-Maskiertechnik gingen die Bemühungen der letzten Jahre hauptsächlich dahin, die Geometrien zu verkleinern, was zu verbesserten Eigenschaften bezüglich des Hochfrequenzverhaltens und der benötigten Leistung sowie zu günstigeren Herstellungskosten führte. Noch im Laborstadium befinden sich neue Maskiertechniken, bei denen die Auflösungsbeschränkung des Lichtes durch die Verwendung eines Elektronenstrahles bzw. von Röntgenstrahlen umgangen werden soll.

In der Ätztechnik ist vor allem die anisotrope Ätzung von Silizium zu erwähnen, die es gestattet, einzelne Elemente



Fig. 2
Moderne Hochleistungs-Sendetetrode mit einer Ausgangsleistung von 1100 kW
Höhe 670 mm
max. Durchmesser 390 mm

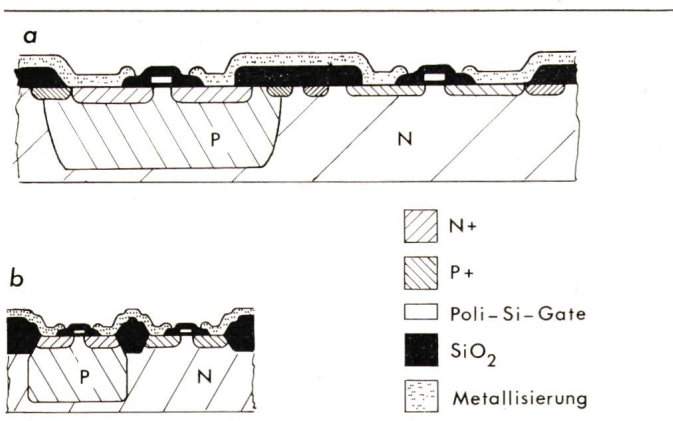


Fig. 3 Querschnitte a) durch einen konventionellen CMOS-Inverter und b) als Grössenvergleich durch einen LOCOS-Inverter

einer integrierten Schaltung idealer voneinander zu trennen, als dies durch die übliche Isolationsdiffusion möglich ist. Eine interessante Anwendung ist hier die V-Groove-Technik, die es gestattet, einen MOS-Transistor quasi in vertikaler Richtung zu realisieren und dadurch erheblich Oberfläche zu sparen (Fig. 4).

Ebenfalls als strukturelle Neuerung auf dem Gebiete der MOS-Schaltungen können die CCD (charge coupled devices) betrachtet werden. Vereinfacht gesagt handelt es sich dabei um eine lineare Anordnung von MOS-Transistoren, deren Gates durch gemeinsame Taktimpulse so gesteuert werden, dass sich Ladungen in einer vorgegebenen Richtung weiterverschieben. Die Technik wird auf Speicher angewendet, aber auch für optische Ausleselemente und für analoge Verzögerungsleitungen benutzt.

Auf dem Gebiete von bipolaren Schaltungen hat man mit I²L (integrated injection logic) ebenfalls eine neue, raumsparende Struktur gefunden. Wie bei CCD werden bekannte Basistechnologien auf neuartige Weise zusammengefügt. Die grundlegende Idee bei I²L ist die Verwendung des Substrates als gemeinsamen Emitter für sämtliche NPN-Inverter-Transistoren und von lateralen Multi-Kollektor-PNP-Transistoren als Stromquellen. Damit bietet sich erstmals auch die Möglichkeit an, flächensparende, digitale Elemente zusammen mit optimierten, analogen Schaltungen zu integrieren.

Etwas mehr in die Richtung einer neuen Materialtechnologie gehen die SOS- (Silicon on sapphire) Schaltungen, wo es darum geht, durch Aufbau der aktiven Schicht auf einem Isolator (Saphir) ein besseres Hochfrequenzverhalten zu er-

reichen und Leistung zu sparen. Wenn auch die technischen Probleme als gelöst betrachtet werden können, ist dieser Technologie aus Kostengründen der Durchbruch in die echte Massenproduktion bis jetzt versagt geblieben. Immerhin bestehen bereits kommerziell erhältliche RAM (random access memories), die bei geringsten Zugriffszeiten einen sehr kleinen Leistungsbedarf haben (z. B. MWS 5001 von RCA, 1 kbit, 150 ns Zugriffszeit, 0,1 mW Ruheleistung und 4 mW Arbeitsleistung).

Weiter vom bisher Üblichen als die beschriebenen Strukturen entfernt man sich mit den Magnetic-Bubble-Elementen und dem BEAMOS-System (*General Electric*), die beide für Speicher Anwendung finden sollen. Bei den Bubbles handelt es sich darum, die aus der Halbleitertechnologie bekannte Maskierungstechnik auf magnetische Materialien anzuwenden und zu tiefen Preisen sehr dicht gepackte Speicherelemente zu erhalten. Technologische Schwierigkeiten, hauptsächlich mit der erforderlichen Maskierungstechnologie, haben bis heute eine kommerzielle Auswertung verhindert. In der BEAMOS-Technik werden MOS-Speicherelemente durch einen Elektronenstrahl in einer Kathodenstrahlröhre abgetastet. Auch diese Verbindung von Halbleiter- und Vakuumtechnologie muss sich vorerst noch industriell durchsetzen.

5. Diskrete Halbleiterkomponenten

Das stetige Vordringen der integrierten Schaltungen in Kleinsignalanwendungen hat die Entwicklung diskreter Halbleiter mehr und mehr auf Spezialgebiete wie hohe Leistung und sehr hohe Frequenzen verwiesen. Hochspannungs-Leistungstransistoren, zum Teil als Darlington-Kombination, erlauben heute das Arbeiten mit gleichgerichteter Netzspannung. Sie sind speziell interessant für den Aufbau von Schaltkreisen und für die Steuerung von Motoren bis zu einer Leistung von etwa 2 kW. In diesem Sektor haben sie teilweise Thyristoren und Triacs verdrängt, indem sie billigere und technisch bessere Methoden anbieten, z. B. geringere «Verschmutzung» des Netzes mit Oberwellen. Die kurzen Schaltzeiten dieser Elemente von 1...2 μ s erlauben Taktfrequenzen von einigen 10 kHz, was wiederum Volumeneinsparungen bei Transformatoren, Drosseln und Kondensatoren ergibt und somit eine gedrängte Bauweise erlaubt. Spezielle Elemente dieser Art wurden für elektronische Zündungen in der Autoelektronik entwickelt.

Bei Gleichrichterdiolen, Thyristoren und Triacs geht der Trend eindeutig nach höherer Leistung und höherer Geschwindigkeit. Fortschritte auf dem Sektor der Materialtechnologie erlauben heute die Herstellung von grossflächigen Dioden bis 75 mm ϕ , die Leistungen von mehreren MW verarbeiten können. Thyristoren findet man bis zu einer Sperrspannung von über 3000 V und Nennströmen zwischen 500...1000 A. In diesem Zusammenhang sei der neue *Brown Boveri* Hochspannungsthyristor mit einer Sperrspannung von 2500 V, einem Nennstrom von 1000 A und einer Freierweidezeit von 80 μ s erwähnt. Diese Elemente sind vorwiegend für die Hochspannungs-Gleichstromübertragung und für Traktionsanwendungen bestimmt und ersetzen teilweise das klassische Ignitron.

Transistoren mit Grenzfrequenzen bis zu 5 GHz haben heute das Experimentierstadium verlassen und finden in Rundfunk und Kommunikation bis zu Frequenzen von 1

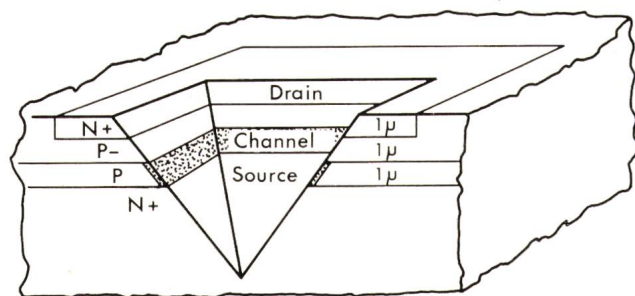


Fig. 4 Entlang den Kristallebenen angeätzte Siliziumscheibe (V-Groove), einen vertikalen MOS-Transistor ergebend
 N + stark N-dotierte Source- und Drain-Region
 P P-dotierter Kanal
 P — leicht P-dotierte Verarmungsschicht

GHz als Verstärker- und Mischstufen Verwendung. Spezialtypen mit extrem kleiner Kreuz- und Intermodulation werden meist in der Verbindung mit «stripline»-Technik in Breitbandverstärkern bis zu Frequenzen von einigen 100 MHz angewendet. Im gleichen Frequenzgebiet sind Transistoren erhältlich, die 20...50 W Hochfrequenzleistung abzugeben vermögen.

Spezielle Mikrowellenelemente, Varaktor-Dioden oder Gunneffektdioden aus Galliumarsenid haben ebenfalls von den technologischen Fortschritten profitiert und verdrängen die Röhren langsam aus diesem Anwendungsgebiet.

Es bleibt noch zu erwähnen, dass die Plastik-Verpackungstechnik sich nun auch bei Leistungselementen durchzusetzen vermag, was preisliche Vorteile ergibt und der Elektronik in zunehmendem Masse den Eingang in die Gebrauchsgüter des täglichen Bedarfs ermöglicht.

6. Analoge integrierte Schaltungen

Während in den letzten Jahren fast alle Funktionen der Rundfunk- und Fernsehgeräte integriert wurden, hat die Ionenimplantation neuerdings den Schaltungen für industrielle und hochprofessionelle Anwendungen neue Impulse gegeben. Es ist damit möglich, Operationsverstärker mit FET-Eingängen zu bauen, die nebst extrem kleinen Eingangsströmen Offset-Spannungen aufweisen, welche bis heute nur mit bipolaren Elementen realisiert werden konnten. Gleichzeitig haben diese P-Kanal Junction FET Grenzfrequenzen, die um eine Dekade höher liegen als bei einem normalen PNP bipolaren Element. Damit wird ein nahezu idealer Operationsverstärker mit 2 mV Eingangsoffset, weniger als 100 pA Eingangsstrom, einer Bandbreite von 5...10 MHz und einer Slew Rate von 10...50 V/μs erreicht.

Trotz diesen neuen Entwicklungen ist aber der bald legendäre Typ 741 immer noch der am häufigsten verwendete Operationsverstärker. Er kommt heute auch vermehrt als Viererkombination für Billigst-Schaltungen in Einsatz. Daneben ermöglichen die Fortschritte in der Bipolartechnologie und eine geschickte Schaltungstechnik auch Versionen mit stark verbesserten Eigenschaften, wie z. B. den TDA 1034 von *Faselec/Philips*, der ein sehr gutes Hochfrequenzverhalten mit einer extrem kleinen Rauschspannung verbindet.

Der stark steigende Einsatz von Digital-Prozessoren wird auf der Eingangs- und Ausgangsseite durch neue Analogschaltungen vereinfacht. In diesem Zusammenhang sind Instrumentationsverstärker, ebenfalls mit Junction FET-Eingang, mit hoher Gleichtakt-Unterdrückung und breit wählbarer Verstärkung erhältlich. Dazu gehören auch Analog-Multiplexer und Digital-Analog-Umsetzer in CMOS-Technologie mit einer Auflösung bis zu 10 bit und Umsetzzeiten von einigen 10 μs.

Monolithische Spannungsstabilisatoren mit Ausgangsströmen von einigen A werden heute fast ausschliesslich in den klassischen Transistorumhüllungen angeboten. Sie ermöglichen eine einfache und billige Stabilisierung auf den einzelnen Print-Karten. Auch für die Ansteuerung von Schaltnetzteilen wurden spezielle IC mit Impulsbreiten-Modulation inkl. Start- und Überwachungsautomatik entwickelt.

Nachdem der Operationsverstärker bereits seit einiger Zeit den aktiven RC-Filtern zum Durchbruch verholfen hat, ermöglicht die neue integrierte Gyrator-Schaltung TCA 580 einen Ersatz für Niederfrequenzspulen, und die Realisierung

von Niederfrequenzfiltern ohne Spulen sogar bei Frequenzen unter 100 Hz.

Auch bei linearen IC wird der Trend zu höherer Leistung deutlich. Integrierte monolithische Niederfrequenzverstärker bis zu Leistungen von 10 W sind bereits handelsüblich. Eine neue Schaltung von *Philips*, die SAA 1027, erlaubt den Antrieb von Schrittmotoren kleiner und mittlerer Leistung, wobei der Monolith den Logikteil und die Ausgangsstufe vereinigt. Neue interessante Anwendungen bietet auch das MOS-Eimerkettenschieberegister (CCD) als Verzögerungselement für lineare Signale, wobei die Verzögerungszeit durch die Wahl der Taktfrequenz in weiten Grenzen einstellbar bleibt.

7. Digitale integrierte Schaltungen

Die digitalen integrierten Schaltungen haben in den letzten Jahren den grössten Fortschritt erfahren. Dabei haben sich neue Technologien und neue schaltungstechnische Konzepte gegenseitig unterstützt.

Bei den normalen logischen Reihen ist der Trend zu höherer Integrationsdichte und zu höherer Geschwindigkeit bei kleinerer Leistung deutlich. Die TTL-Reihen haben mit der Low Power Schottky TTL wohl das Ende ihrer Möglichkeiten erreicht, wobei bei einer Gatterlaufzeit von 10 ns eine Leistung von 2 mW pro Gatter benötigt wird. Zusammen mit der CMOS-Reihe, mit einer Laufzeit von 25 ns, wurde die LSTTL-Reihe zum Industriestandard für Neuentwicklungen. Der Vorteil der CMOS-Reihe liegt bei der extrem kleinen Ruheleistung von nur 10 nW pro Gatter. Durch technologische Fortschritte, d. h. durch Oxid-Isolation (LOC MOS und Isoplanar), wurde die CMOS-Reihe noch weiter verbessert.

Für schnelle Computer-Anwendungen scheint sich zunächst das ECL-Prinzip bei Laufzeiten von 0,5...1 ns durchzusetzen, was allerdings mit grösseren Leistungen erkaufte werden muss. In den nächsten Jahren dürfte sich ein Trend nach I²L ergeben, einer bipolaren Technologie, die vor allem auch der höheren Komplexität entgegenkommt.

Auf dem Gebiet der Speicher ist es der Halbleiterindustrie gelungen, mit dem 4-kbit-MOS RAM (Random-Access-Memory) die klassischen Kernspeicher zu verdrängen. Man spricht bereits von 8-kbit- und 16-kbit-Speichern mit Zugriffszeiten von weniger als 200 ns. Speziell auf dem Gebiet der Speicher werden die neuen Technologien, I²L oder SOS, noch weitere Verbesserungen ermöglichen. Wie weit der Eimerkettenspeicher (CCD-Memories) die klassischen Platten und Trommelspeicher zu ersetzen vermag, wird letztlich eine Preisfrage sein; bezüglich Zugriffszeit ist er bereits deutlich überlegen. Ein CCD mit 1,1 Mbit, einer Zugriffszeit von weniger als 200 μs und einem Bit-Preis von 5 Rappen ist bereits auf dem Markt.

Ähnliche Fortschritte sind bei den ROM, PROM und EPROM zu verzeichnen (Read Only Memory, Programmable Read Only Memory, Electrically Programmable Read Only Memory). Neu findet man sogenannte Field Programmable Logic Arrays (FPLA), im wesentlichen PROM mit der Möglichkeit, AND und OR-Funktionen einzuprogrammieren. Diese Gruppen gewinnen mit der zunehmenden Einführung von Mikroprozessoren stark an Bedeutung.

Die Zahl der erhältlichen Mikroprozessoren hat sich im letzten Jahr mehr als verdoppelt, wobei man in zunehmendem Masse äusserst flexible Einheiten findet, die durch sogenannte Emulation bereits bestehende Systeme ersetzen können. Der grundsätzliche Unterschied zwischen logischen Standard-Reihen und dem Mikroprozessor ist der Übergang von der Hardware- zur Software-Entwicklung, indem bei der Anwendung von Mikroprozessoren der Entwicklungsingenieur sich nicht mehr mit dem optimalen Schaltungskonzept, sondern vielmehr mit der Programmierung von gegebener Hardware befassen muss, ähnlich wie bei Mini- und Grosscomputersystemen. Es muss in diesem Zusammenhang verdeutlicht werden, dass beim Aufbau eines Systems mit einem Mikroprozessor die eigentliche CPU-Einheit (Central Processing Unit) allein nicht genügt, sondern dass zusätzlich eine Menge von weiteren Schaltungen, vor allem ROM oder PROM, nötig sind.

8. Elektronische Komponenten für Quarzuhren

Wegen ihrer besonderen Bedeutung für die Schweiz soll hier etwas näher auf die für Quarzuhren benötigten elektronischen Komponenten eingegangen werden. Als Zeitnormal haben sich heute für Armbanduhr Quarz-Biegeschwinger mit einer nominellen Frequenz von 32 768 Hz (2^{15}) weitgehend durchgesetzt. Es wurden in den letzten Jahren grosse Fortschritte u. a. in der Aufhängetechnik des Quarzstäbchens im vakuumdichten Gehäuse sowie der Produktionskosten erzielt. Teilweise verbesserte Eigenschaften werden durch Quarzschwinger in Form einer Stimmgabel erhalten. Allerdings verlangt die kostengünstige Fertigung dieser Form auf dem konventionellen Wege grössere Investitionen. Eine mögliche Lösung besteht darin, aus der Halbleiterindustrie bekannte Maskierungs- und Ätztechniken auf die Quarzfertigung anzuwenden und so aus einem Serie-Herstellungprozess einen Batch-Prozess zu machen.

Die Wahl der Frequenz 2^{15} Hz eines Biegeschwingers ist ein Kompromiss zwischen möglichst hoher Genauigkeit und kleinen Dimensionen einerseits und kleinem Stromverbrauch andererseits. Eine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit, sowohl hinsichtlich des Temperaturverhaltens als auch bezüglich Alterung und Schockunempfindlichkeit lässt sich durch die Wahl eines Dickenschwingers (AT-Quarz) im MHz-Gebiet erreichen. Da der Leistungsbedarf mit einer gegebenen Technologie jedoch proportional zur höchsten zu verarbeitenden Frequenz ist, stehen dem Übergang zu höheren Frequenzen von der elektronischen Seite im allgemeinen Grenzen gegenüber. Immerhin hat sich eine Quarzfrequenz von 4,2 MHz für Quarz-Tischuhren schon generell durchgesetzt, währenddem die Frequenz von 2,4 MHz, für die Uhr Megaquarz 2,4 von *Omega*, eindeutig eine Ausnahme darstellt.

Die elektronische Schaltung für eine Quarzuhr besteht aus einem Oszillorteil, einer Frequenzteilerschaltung, die zur Erzeugung von 1-Hz-Impulsen dient, und entweder einer Treiberschaltung für einen Schrittmotor im Falle von Zeigeruhren oder einer relativ komplexen, weiteren Frequenzteiler- und Decodierschaltung für die Ansteuerung von digitalen Anzeigeelementen (Fig. 5).

Für Uhren mit analoger Zeitanzeige (Schrittmotor, Zeiger) hat sich generell eine spezielle CMOS-Technologie für tiefe Schwellspannungen durchgesetzt. Für den Grossteil der

integrierten Schaltungen für Digital-Uhren wird ebenfalls die CMOS-Technologie verwendet. Für Digital-Uhren mit LED-Anzeige ergibt sich aber der Nachteil von sehr grossen Ausgangstransistoren, damit die relativ grossen Ströme für die Anzeigesegmente geliefert werden können, oder es müssen bipolare Elemente als Stromverstärker zwischen CMOS-Logik und Anzeige geschaltet werden. Die I²L-Technologie mit ihrer Möglichkeit, dichtgepackte Logik mit normalen bipolaren Transistoren zu kombinieren, bietet sich hier als mögliche Lösung an.

Die tiefen Schwellspannungen für die CMOS-Schaltungen (typisch $0,5 \pm 0,1$ V sowohl für P- als auch für N-Kanal-Transistoren) werden entweder durch die Verwendung der Silicon-Gate-Technologie erhalten, wobei dann die Gates der N-Kanal-Transistoren mit N und diejenigen der P-Kanal-Transistoren mit P dotiert werden, oder es wird eine Metall-Gate-Technologie verwendet, wobei die Schwellwerte durch Implantation von Ionen direkt unter das Gateoxid auf die gewünschten Werte eingestellt werden. In beiden Fällen muss die P-Region, in die N-Kanal-Transistoren zu liegen kommen, durch Ionenimplantation sehr genau dotiert werden. Es kann gesagt werden, dass erst die Verwendung der Ionenimplantation elektronische Quarzuhren möglich gemacht hat.

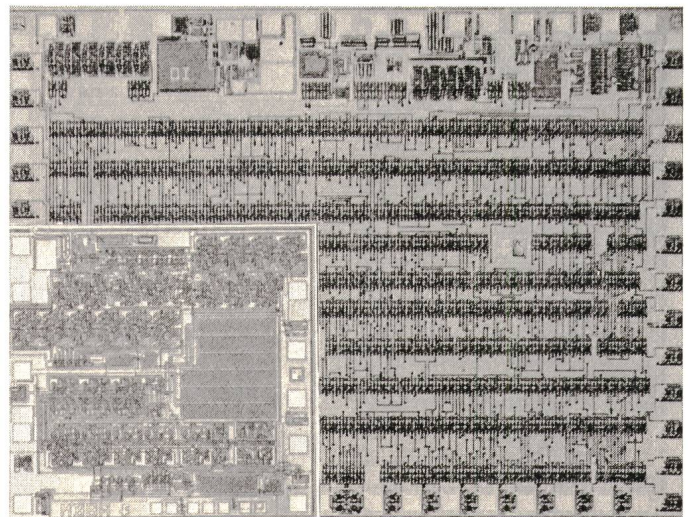


Fig. 5 Mikrophotographie eines Chips für digitale Armbanduhrn (Grösse 4 × 5 mm)

Unten links als Grössenvergleich das Chip für eine 4,2-MHz-Tischuhr mit Analoganzeige

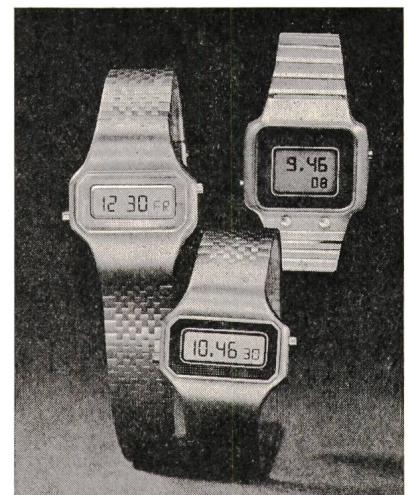


Fig. 6 Anwendung von Drehzellen-Flüssigkristallanzeigen in Digitaluhren

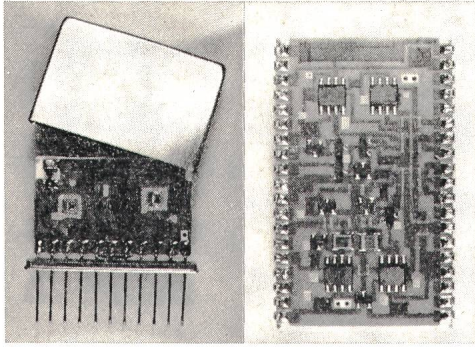


Fig. 7 Zwei Ausführungsformen von Dickschichtschaltungen

Links: Verwendung von nackten IC-Chips in hermetischer Umhüllung

Rechts: Verwendung von IC in Miniatur-Plastikumhüllung

In modernen elektronischen Uhren gelangen heute grundsätzlich zwei Anzeigesysteme zur Anwendung: Flüssigkristalle (LCD) oder Leuchtdioden (LED). Dank den hervorragenden technischen Eigenschaften der Flüssigkristallanzeigen – vor allem der nematischen Drehzellen – wird diesen je länger je mehr der Vorzug gegeben. Man rechnet damit, dass 1980 ca. 75 % aller Digital-Uhren mit Flüssigkristallanzeigen hergestellt werden. Die nematische Drehzelle zeichnet sich durch einen geringen Leistungsverbrauch ($5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, typischer Wert für eine Armbanduhr: $1...2 \mu\text{W}$), eine niedrige Ansteuerspannung (1,5...3 V), gute Ablesbarkeit bei Tageslicht und hohe Lebensdauererwartung von über 30 000 h aus. Sie erlaubt ein flaches, raumsparendes Styling, selbst für Digital-Uhren mit Mehrfachfunktionen (Fig. 6). Die meisten Uhren werden heute mit einem energiesparenden Nachtbeleuchtungssystem ausgerüstet. Beschränkter Zeitmultiplexbetrieb ist heute bereits möglich.

9. Hybride Schaltungen

Hybride Schaltungen in Dünnschicht- wie auch in Dickschicht-Technik haben lange Zeit als integrierte Schaltung des armen Mannes gegolten. Dies erklärte sich vor allem aus den verglichen mit monolithisch integrierten Schaltungen bedeutend tieferen Entwicklungskosten, die deshalb möglich

sind, weil bereits festgelegte und erprobte Schaltungsanordnungen meist ohne grosse Modifikationen übernommen werden können und auch bedeutend geringere Masken- und Layout-Kosten anfallen. Während diese Art von hybriden Schaltungen immer noch eine wesentliche Rolle spielt, ist in letzter Zeit vermehrt der Übergang zum hybriden System festzustellen. Dabei wird die Grundtechnologie der Dünnschicht-, vor allem aber der Dickschicht-Technik, mehr als Verbindungstechnik von monolithisch-integrierten Schaltungen betrachtet. Die hybride Technik tritt in dieser Form nicht so sehr als Konkurrenz zum monolithischen IC hervor, sondern eher als Konkurrenz zur konventionellen Printtechnik.

Aktive Komponenten werden heute sowohl in Form von nackten Chips als auch von in Plastik verpressten Endprodukten in die hybride Schaltung eingebracht (Fig. 7). Es hat sich gezeigt, dass die automatisierte Montagetechnik für verpackte Halbleiterschaltungen zusammen mit der Garantie, ein als gut geprüftes Produkt in die hybride Schaltung einzubringen, zu tieferen Herstellungskosten führt, als wenn nackte Chips verwendet werden. Andererseits führt die Verwendung von nackten Chips selbstverständlich zu kleineren Dimensionen, so dass dieses Verfahren immer dann verwendet wird, wenn die Abmessungen eine wichtige Rolle spielen.

Hinsichtlich der Umhüllungstechnik hat sich für Dickschichtschaltungen für den Consumerbereich die einfache Abdeckung mit einer Plastikschicht durchgesetzt. Für professionelle und militärische Anwendungen werden hermetisch verschweisste, evtl. gelötete Abdeckungen direkt auf dem Keramiksubstrat verwendet. Da das Hauptanwendungsgebiet der Dünnschichtschaltungen im militärischen und professionellen Bereich liegt, werden dort vorwiegend hermetische Gehäuse verwendet.

Adressen der Autoren

Dr. sc. techn. *M. Deak*, Abt. EK, BBC AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden; Dr. *H. Rüegg*, Faselec AG, Räflestrasse 29, 8045 Zürich; dipl. Ing. *F. Winiger*, Philips AG, Abt. Elcoma EAL, Postfach, 8027 Zürich.