

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen  |
| <b>Band:</b>        | 75 (1984)   |
| <b>Heft:</b>        | 19  |
| <b>Rubrik:</b>      | Im Blickpunkt = Points de mire  |

### 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:** 26.01.2026

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

# Im Blickpunkt

## Points de mire

### Energietechnik Technique de l'énergie

#### Fehlerströme in Mittelspannungsnetzen

[Nach J.J. Burke und D.J. Lawrence, Characteristics of Fault currents on Distribution Systems. IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems 103(1984)1, S. 1...6]

Der Bericht gibt eine geraffte Übersicht über die Resultate einer vier Jahre dauernden Messreihe über Fehlerströme an insgesamt 50 Leitungsabgängen in Unterwerken von 13 verschiedenen Elektrizitätsgesellschaften der USA.

Ziel der Untersuchungen war die Beschaffung von zahlreichen, statistisch ausgewerteten Unterlagen über die Häufigkeit und Grösse von Störungen im Betrieb von Mittelspannungsnetzen. Diese Daten sind sehr wichtig für die Projektierung und den wirtschaftlichen Betrieb dieser Netze. Die heute meist hohe Betriebssicherheit von Verteilnetzen zeigt, dass die möglichen Gefahren und Risiken bisher im allgemeinen richtig kalkuliert wurden. Es besteht aber die Gefahr, dass die Überdimensionierung den Ausbau der Anlagen unwirtschaftlich macht.

Die Nennspannung der untersuchten Leitungen lag im Bereich zwischen 5 und 35 kV, wobei rund die Hälfte 12-kV-Leitungen waren. 90% der Abgänge waren Freileitungen und 10% Kabel.

In der vierjährigen Messperiode sind insgesamt 222 Kurzschlüsse festgestellt worden, wovon rund 80% einphasige (Phase gegen Nulleiter oder Phase gegen Erde). Die hauptsächlichsten einzeln feststellbaren Störungsursachen waren Blitzschläge, fallende Bäume oder Äste und Materialfehler mit je 20% Anteil. Rund 40% aller Störungen traten während ungünstigen Wetterbedingungen, d.h. bei Regen, Schnee oder Eis, auf. Die Resultate über Dauer, Grösse und Art der Fehlerströme sowie weitere Kennwerte sind in dem eingangs erwähnten IEEE-Bericht in insgesamt 14 Graphiken dargestellt. Der ausführliche Bericht über die durchgeföhrten Messungen ist ein zweibändiges Werk mit dem Titel: EPRI, «Distribution Fault Current

Analysis», Final Report for EPRI Project 1209-1, January 1983.

P. Troller

#### Contamination du sol par une fuite de PCB

[D'après R.C. Dwivedy, R.F. Molzahn: A Case Study of an Underground PCB Spill: Fate of the Sub-surface PCB Spill Residues and its Impact on Humans and the Environment. IEEE Trans. PAS-103(1984)2, p. 304...309]

En juin 1982, on a constaté une fuite de liquide isolant à un transformateur d'une station souterraine, en plein centre d'une grande ville américaine. Le fluide isolant Pyranol contient du PCB (polychlorobiphényle, un polluant sévèrement réglementé) et la fuite, estimée à 380 litres, s'est écoulée dans le sol par un puits perdu situé au fond du local.

Des études très détaillées ont été aussitôt entreprises par la société propriétaire du transformateur pour déterminer les risques de contamination pour l'homme et l'environnement. Six forages d'une profondeur de 12 m ont été réalisés dans la région touchée; ils ont permis de déterminer

- la géologie du sol (nature des couches, présence d'eau)
- l'ampleur de la contamination (concentration de PCB à différentes profondeurs)
- les limites de la zone contaminée (diamètre maximum 4,50 m; entre 4,50 et 12,0 m de profondeur)

Une analyse très complète de la littérature existante a en outre permis une interprétation très fine des résultats des sondages. Il apparaît ainsi que la presque totalité du PCB a été retenue dans le sol par adsorption; de cette quantité, moins de 0,11 sont susceptibles d'être relâchés dans les eaux souterraines, tandis que 2 ml ont pu être dissous dans ces eaux. Compte tenu des vitesses de migration de l'eau et du rythme de bio-dégradation du PCB, on a calculé que la pollution pourrait s'étendre latéralement à une distance maximale de 135 m.

Vu l'endroit de la fuite, aucun risque d'exposition directe (contact, inhalation, ingestion) n'est à craindre. Une exposition indirecte n'entre pas non plus en ligne de compte: il n'y a ni végétation, ni captage d'eau po-

table dans la zone menacée, et les réseaux d'eau potable, usée ou de pluie passent tous plus haut que la région contaminée. Sur la base de ces constatations, il a été jugé possible de renoncer à une excavation du terrain pollué, les risques pour l'homme et l'environnement étant estimés négligeables. P. Desponds

### Informationstechnik Technique de l'information

#### Der menschliche Körper und seine Wandler, ein Echtzeit-Rechen- und Regelsystem

[Nach M. H. Westbrook: The human body and its transducers: a real-time real-life computing and control system. IEE Proceedings-A, 131(1984)1, S. 10...16]

Im Gegensatz zum Computer arbeitet das menschliche Datenverarbeitungssystem mit relativ langsamem Pulsfrequenzen von höchstens 500 Hz. Zur Kompensation erfolgt weitreichende Parallelverarbeitung entsprechend einem hierarchischen Aufbau. Das Rückenmark (automatische und unbewusste Abläufe) bildet die unterste Stufe, der Hirncortex die oberste. Bausteine des DV-Systems sind die Nervenzellen (Neuronen), von denen es einige Millimeter grosse Typen mit wenigen Schnittstellen wie auch Varianten mit bis zu 700 mm langen Enden und bis zu 20 000 Schnittstellen (Synapsen) gibt.

Der Informationstransfer erfolgt mit Impulsen von etwa +50 mV gegen -80 mV Ruhelage, und zwar in «blanken» Enden mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 m/s und in mit Myelin isolierten Enden von bis zu 300 m/s. Ein Neuron kann (positive) Aktivierungs- wie auch (negative) Inhibitionssignale aufnehmen. Die Synapsen wirken als elektro-chemische Digital-Analog-wandler. Im Innern erfolgt eine zeitabhängige Integration. Bei Erreichen eines Grenzwertes kippt eine Art Schmitt-Trigger, der einen oder mehrere Ausgänge bedient, um und stellt die Zelle zurück.

Die Informationsverarbeitung geschieht in einem seit der Geburt (ja teilweise schon vorher) laufenden Lern- und Adaptionsprozess, bei dem

Routineaufgaben rasch in tiefere Hierarchieebenen verlagert werden, auf die der Mensch bald einmal als Roboter reagiert, (wie jedem bewusst wird, der den täglichen Arbeits- bzw. Autoweg einmal ändern muss und dabei die Abzweigung verpasst.) Ohne relativ baldige Verdrängung von Routineaufgaben wäre aber unser System ausserstande, mit den sich stets ändernden Umweltbedingungen fertig zu werden.

Die Sinneszellen mit den Synapsen und anderen Wandlern sind hochspezialisiert. Es wird vermerkt, dass die den Augen zugewiesenen Hirnzellen sehr früh beginnen, Informationsgruppen nach Randlinien, Winkel- und Eckenbeziehungen zu ordnen. Die stetige Erweiterung der «Diathek» lässt später mittels eines Kurzcodes die gewünschten Bilder erscheinen (Quadrat mit aufgesetztem Dreieck = Haus). Andererseits ist ein starker Trend nach «sinnvollen» Bildern spürbar (Projektion von Objekten in Wolken- und Sternbilder). Die Objekterkennung geschieht durch intensiven Dialogverkehr des Sinnesorgans mit dem Hirn; je nach Bedarf wird das Auflösungsvermögen variiert, ein Verfahren, das bei optischen Robotersteuerungen sehr nützlich wäre.

Die Ohrnervenen werden, wiederum wegen der gegebenen niedrigen Grenzfrequenz, bei höheren Tönen sequentiell-parallel angeregt. Ein PLL-ähnliches System scheidet aus dem grossen Rauschpegel Informationen aus. Trotz grossen Erfolgen in der Sprachverarbeitung sind noch wichtige Schritte nötig, bis ein elektronisches System bei einer Konzertvorlage Menuhin von Stern unterscheiden kann.

Während die Geschmacksnerven die vier Grundinformationen salzig, süß, sauer, bitter verarbeiten, reagieren die Geruchsnerven auf eine enorme Zahl verschiedener chemischer Reize. In diesen Sparten steht die Elektronik noch ganz am Anfang, z.B. mit monomolekularen organischen Filmzellen als «Fliegenfänger» für aromatische Moleküle. Der Tastsinn wird durch verschiedene organisierte Zellen realisiert, die teilweise auch als Temperatur- und Windfühler nach dem Prinzip

des Hitzdrahtanämometers arbeiten. Das Körperinnere beherbergt auch Druckempfänger, die z.B. langes, ruhiges Sitzen als unangenehm anzeigen. Die *Muskelsteuerung* erfolgt über verschiedene Regelkreise, wobei gegen Ende einer Kontraktion Zusatzmuskulatur die Rückmeldeschnellen anspannen, um so eine feinere Auflösung zu erreichen.

Die Untersuchungen biologischer Funktionen sind hilfreich bei der Entwicklung komplexer Steuer- und Robotiksysteme. Zum Teil werden Erkenntnisse schon heute angewendet, wie bei den intelligenten Endgeräten, die Routineaufgaben vor Ort lösen und nur schwierige Aufgaben dem Zentralsystem zur Lösung zuleiten.

O. Stürzinger

### Dreidimensionale Filterung für die Bewegtzieldetektion

[Nach I.S. Reed, R.M. Gagliardi, H.M. Shao: Application of Three-dimensional Filtering to Moving Target Detection. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems 19(1983)6, S. 898...905]

Die Erkennung eines sich innerhalb einer räumlichen Zelle befindenden, ruhenden Zielobjektes erfolgt nach der bekannten Methode der Integration des in diesem Raumelement vorhandenen Signalinhalts, welche das Zielsignal aus den Rauschsignalen der Umgebung heraushebt. Bewegt sich dagegen das Zielobjekt in der beobachteten Raumzelle mit einer bestimmten Geschwindigkeit, so muss für dessen Detektion das Verfahren der dreidimensionalen Filterung herangezogen werden. Hierbei wird das sich in der ruhenden oder bewegten Beobachtungszelle bewegende Ziel bezüglich seiner geometrischen Lage (zwei Koordinaten) und deren Veränderung als Funktion der Zeit vermessen und das Signal von drei Filtern verarbeitet und zum Detektionssignal aufbereitet. Dieses grundsätzliche Verfahren kann sowohl in der Radartechnik als auch in optronischen Zieldetectionsverfahren angewendet werden. Im vorliegenden Artikel wird das optronische Verfahren beschrieben.

Die anzuwendende Filtertechnik, der Rauschinhalt der Zelle sowie die optischen De-

tektionsverfahren werden näher untersucht. Vorerst ist das sich bewegende Ziel kontinuierlich mit Hilfe eines Zielfolgeverfahrens in der Beobachtungszelle zu fixieren (Target Tracking). Der gesamte Informationsinhalt der dem Zielobjekt nachgeführten Zelle wird als Szene auf eine Bildebene abgebildet. Die dauernde zeitliche Veränderung des Szenenbildes unterliegt einer Analyse durch ein passendes Fotodetectionsverfahren. Hier wird nun die dreidimensionale Filterung eingesetzt, und zwar so, dass einer zweidimensionalen Flächenfilterung (x-, y-Koordinaten der Bildpunkte) das eindimensionale Zeitelement (Time-Gating) zugeordnet wird. Hierauf erfolgt eine Zielsignalmaximierung durch die zeitliche Korrelation der Filterausgänge, wobei kohärente und nichtkohärente Signaleanteile (Rauschanteile und unerwünschte Hintergrundinformation) voneinander zu trennen sind. An einem Beispiel wird das Signalzu-Rausch-Verhältnis (SNR) einer Szene, deren Rauschintensität eine exponentiell verlaufende Kovarianz aufweist und deren beobachtetes Zielobjekt eine konstante Geschwindigkeit aufweist, berechnet und grafisch dargestellt.

Es ergibt sich, dass mit dem vorgegebenen Verfahren und den gewählten Parametern Ziel-Signalenergien bis zu -30 dB SNR bei Korrelationszeiten von 20s und relative Zielgeschwindigkeiten bis 10 m/s detektierbar sind. Bei zunehmender relativer Zielgeschwindigkeit (auf die Bildebene projizierter Geschwindigkeitsvektor) sinkt die detektierbare Zielenergie ab bis auf +20...50 dB SNR, je nach gewählter Korrelationslänge. Bei 2s Korrelationszeit können Ziele mit relativen Geschwindigkeiten bis zu 10 km/s im SNR-Bereich von 0 bis +30 dB detektiert werden.

H. Klauser

### Textunabhängige Sprechererkennung

[Nach J. Foil und D. Johnson: Text Independent Speaker Recognition. IEEE Communications 21(1983)9, S. 22...25]

Das automatische Erkennen einer Person aufgrund ihrer Sprache ist eine relativ neue Technik, die sich für verschiedene Anwendungen, wie z.B. zur Überprüfung der Zutritts-

berechtigung von Personen, eignet. Gegenüber den bisherigen Methoden mit Schlüssel, magnetischer Ausweiskarte oder Codenummer bietet diese Technik eine grössere Sicherheit, weil die Nachahmung von Sprache durch Unbefugte praktisch ausgeschlossen ist. Im militärischen Bereich ermöglicht sie ein gezieltes und sicheres Abhören verschiedenster gegnerischer Nachrichtenquellen.

Sowohl bei der textabhängigen (TDSR) als auch der textunabhängigen (TISR) Sprechererkennung unterscheidet man die zwei Fälle Sprechererkennung und Sprecherverifikation. Im ersten Fall stellt sich die Frage «Wer ist der Sprecher», im zweiten Fall «Handelt es sich tatsächlich um den Sprecher, als der er sich ausgibt?». Im vorliegenden Artikel wird nur auf die TISR eingegangen. Je nach der angewandten Technik ist sie weniger rechenaufwendig als die TDSR. Sie lässt sich theoretisch überall einsetzen, wo auch die TDSR angewendet wird; umgekehrt gilt dies jedoch nicht.

Die Sprechererkennung geht von der Erkennung von Sprachmustern aus. Aus einem Sprachausschnitt werden Kennzeichenvektoren ermittelt. Dazu wird jeder Ausdruck in Abschnitte von 10-50 ms Dauer aufgeteilt. Jeder Abschnitt wird als stimmhafte oder nicht stimmhafte Sprache eingestuft. Die TISR bedient sich in vielen Fällen nur der stimmhaften Sprache, welche sich durch eine Vibration der Stimmbänder ausdrückt, da die nicht stimmhafte Sprache nur sehr wenig Information über den Sprecher enthält. Jedem Sprecher ist ein Modell mit statistischen Informationen über vorgängig ermittelte Kennzeichenvektoren aus dessen Sprache zugeordnet. Um einen Kennzeichenvektor bewerten zu können, wird jeweils seine Abweichung vom Modell berechnet. Die kleinste Abweichung entspricht, wenn sie innerhalb eines vorgegebenen Bereiches liegt, in der Regel dem wahrscheinlichsten Sprecher.

Die zwei bekanntesten Verfahren für TISR stammen von J. Markel und B. Atal. Sie unterscheiden sich im wesentlichen durch die Reihenfolge der einzelnen Verfahrensschritte, was sowohl theoretisch als auch praktisch von grosser Bedeutung ist. Markel fand heraus,

dass bei der Analyse eines Sprachausschnittes von ca. 40 s die Genauigkeit der Sprechererkennung bei 98% liegt. Für die Sprecherverifikation ergibt sich bei gleicher Sprachdauer eine Fehlerrate von etwas über 4%. Ein wichtiger Unterschied zwischen der Sprechererkennung und der Sprecherverifikation liegt darin, dass bei der ersteren die Genauigkeit unabhängig von der Anzahl Sprecher ist, während bei der letzteren die Genauigkeit umgekehrt proportional zur Sprecherzahl ist.

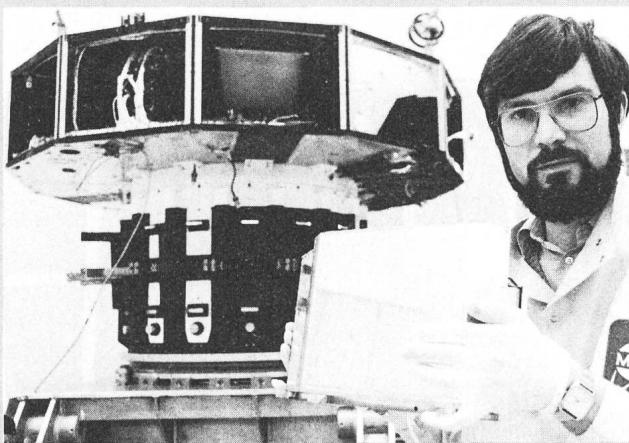
R. Wächter

### Ein künstlicher Komet

Ein weithin leuchtender Kometenschweif am nächtlichen Firmament wird Anfang nächsten Jahres über dem Pazifik von einem Weltraumprojekt künden, das die Wissenschaft auf dem Weg zur Erforschung des Kosmos und seiner Urkräfte einen weiteren Schritt voranbringen soll.

AMPE - «Active Magnetospheric Particle Tracer Explorer» - heisst dieses Vorhaben, an dem die USA, Grossbritannien und die Bundesrepublik mit jeweils einem Forschungssatelliten beteiligt sind. Gemeinsame Aufgabe: Eine Reihe hochkomplizierter physikalischer Experimente im Einflussbereich und unter Ausnutzung des Sonnenwindes - jener elektrisch geladenen Teilchen (Ionen), die von der Sonne herunterbrochen in den Welt Raum strömen - wie auch der irdischen Magnetosphäre, des Magnetfeldgürtels der Erde.

Aufeinandergepackt sind die drei Satelliten vom amerikanischen Cape Canaveral aus gestartet und auf unterschiedliche Umlaufbahnen im Weltraum gebracht worden. Am weitesten von der Erde entfernt fliegt mit rund 120 000 km der vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) entwickelte deutsche Satellit. Ihm ist im Gemeinschaftsprojekt die Erzeugung künstlicher Ionenwolken im Sonnenwind und in der Magnetosphäre zugesagt. Dazu werden Barium und Lithium verdampft, wobei Barium einen kometähnlichen Leuchtschwanz entstehen lässt, den man im östlichen Pazifikgebiet und im Westteil der USA wird beobachten können.



Sensor mit Silizium-Messdetektoren; im Hintergrund halbfertiger Satellit

Der Wissenschaft bieten sich aussergewöhnliche Möglichkeiten, den Transport der Metall-dampfwolken (Plasma) vom Sonnenwind in die Magnetosphäre und innerhalb dieser Region zu verfolgen. Untersucht werden dabei vor allem die Wechselwirkungen zwischen natürlichem und künstlich erzeugtem Plasma. Die Ionenzusammensetzung und die Struktur von Grenzschichten in der Magnetosphäre sind weitere Untersuchungsziele. In solchen Wechselwirkungsbereichen treffen die verschiedenartigen Plasmen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aufeinander. Dadurch werden ihre elektrisch geladenen Teilchen auf höchste Energien beschleunigt. Für derartige Beschleunigungsprozesse braucht man auf der Erde überaus kostspielige Einrichtungen. Demgegenüber sind Magnetosphäre und interplanetarer Raum geradezu ideale Laboratorien.

Der 230 kg schwere US-Satellit des AMPTE-Projekts und der britische 74-kg-Flugkörper sollen einen wesentlichen Teil der geplanten Beobachtungen und Messungen übernehmen. Der rund 700 kg schwere deutsche Satellit ist ebenfalls mit

fünf wissenschaftlichen Instrumenten zur Messung von elektromagnetischen Feldern und geladenen Teilchen ausgerüstet. Darunter befindet sich auch das Experiment SULAICA («Suprathermal Energy Ionic Charge Analyzer»). Es ermöglicht die eindeutige Bestimmung von Ionenarten in einem Energiebereich, der allen bisherigen Satelliten-Unternehmungen versperrt geblieben ist, dem superthermischen Bereich von 10 000 bis 300 000 eV pro Ionenladung. Was bisher nicht möglich war, soll jetzt mit Hilfe neu entwickelter trapezförmiger Silizium-Messdetektoren aus dem Erlanger Siemens-Forschungszentrum gelingen (Bild). Vorgesehen ist eine Kombination von elektrischer Ionenablenkung, Flugzeitmessung und Energiebestimmung. Der SULEICA-Sensor – eine gemeinsame Entwicklung des Max-Planck-Instituts und der US-Universität Maryland – hat vier dieser Detektoren. Mit jeweils 7 cm<sup>2</sup> hochempfindlicher Messfläche sind sie wesentlich grösser als ihre Vorgänger, trotzdem konnte ein besonders niedriges Eigenrauschen von etwa 14 keV erzielt werden.

(Siemens-Presseinformation)

## Verschiedenes Divers

### Ein Metallisierungssystem aus Al-Si-Ti für VLSI-Schaltungen

[Nach F. Fischer: Sputtered Al-Si-Ti Metallization for VLSI Circuits: Method of Characterization and Properties. Siemens F.- u. E.-Berichte 13(1984)1, S. 21...27]

Die laufende Verkleinerung der in hochintegrierten Schaltungen (VLSI) verwendeten

Strukturen erfasst auch die Leiterbahnen. Für diese ist die für gute Langzeitstabilität maximal zulässige Belastung ein wesentliches Kriterium. Die konventionelle Aluminiummetallisierung erfüllt dieses Kriterium bei abnehmender Strukturtbreite nur ungenügend. Deshalb wurde intensiv nach anderen Metallisierungssystemen geforscht. Die Systeme Aluminium-Kupfer (Al-Cu) und Al-Si-Cu weisen eine wesentlich geringere Elektromigration auf.

Sie bieten jedoch andere Probleme, die mit dem grossen Abstand von Al und Cu in der elektrochemischen Spannungsreihe zusammenhängen.

In den Siemens-Forschungslaboreinheiten wurde deshalb nach Al-Metallisierungen gesucht, die diese Probleme vermeiden. Gefunden wurde ein System, bei dem Kupfer durch Titan (Ti) ersetzt wird. Mit diesem System wurden umfangreiche Tests durchgeführt.

Die Ursachen, die zur Unterbrechung von Leiterbahnen bei thermisch-elektrischer Belastung führen, sind grundsätzlich:

- Degradation der Mikrostruktur
- Degradation des Wärmeübergangs
- Elektromigration

Die Degradation der Mikrostruktur wird durch andauernd vorhandene mechanische Spannungen verursacht, die als Folge der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Metallisierung und des darunterliegenden SiO<sub>2</sub> entstehen. Zusammen mit Mikrorissen führt dies zu lokal stark verringerten Querschnitten, damit zu erhöhter Stromdichte und zu Hot Spots. Die vom Querschnitt abhängige Elektromigration verursacht weitere Scherkräfte im Metall-Oxid-Interface. Diese verringern die Haftfestigkeit und verschlechtern so den Wärmeübergang zwischen Metall und Oxid.

Die experimentell ermittelten Aktivierungsenergien für die drei genannten Ausfallmechanismen haben nun gezeigt, dass das System Al-Si-Ti in allen drei Punkten wesentlich besser ist als Al-Si.

E. Stein

### Keramische Vielschicht-Kondensatoren

Philips Technical Review  
[Nach H.-J. Hagemann et al.: Ceramic multilayer capacitors. Philips Techn. Rev. 41(1983/84)3, S. 89...98]

Die Kapazität pro Flächeneinheit eines Plattenkondensators berechnet man bekanntlich als Quotient der Dielektrizitätskonstante  $DK = \epsilon_0 \epsilon_r$  des Materials zwischen den Platten und dem Plattenabstand  $d$ . Will man die Kapazität des Kondensators vergrössern, so muss man entweder  $d$  verkleinern oder ein Material mit grösserer  $DK$  suchen.

In der modernen Elektronik

besteht die Tendenz, die Schaltungen immer mehr zu verkleinern. Damit steigt auch die Nachfrage nach immer kleineren Kondensatoren bei gleichbleibender Kapazität. Eine Massenproduktion dieser Elemente hat selbstverständlich nach wirtschaftlichen Richtlinien zu geschehen.

Aus diesen Gründen gibt es heute eine grosse Anzahl dilektrischer Materialien. Am Anfang stand Bariumtititanat, welches 1943 erstmals erlaubte,  $\epsilon_r$ -Werte von über 1000 zu erzielen. Die heutigen maximalen  $\epsilon_r$ -Werte liegen bei etwa 10 000. Aus grundsätzlichen physikalischen Überlegungen kann gesagt werden, dass weitere Erhöhungen kaum in Frage kommen, da sie nur auf Kosten der Temperaturstabilität erreicht werden könnten.

Die Schichtdicke des Dielektrikums, als zweite Variable, lässt sich ebenfalls nicht beliebig verkleinern; Dicken von weniger als 200  $\mu\text{m}$  sind technisch schwer herstellbar. Bedenkt man, dass die modernen elektrischen Materialien elektrische Feldstärken von 2...3 V/ $\mu\text{m}$  zulassen und die Betriebsspannung heute ungefähr 50 V beträgt, so wird klar, dass ein Gewinn von ungefähr einem Faktor 8 möglich ist, wenn es gelingt, die Schichtdicke auf 20 oder 25  $\mu\text{m}$  zu senken.

Bei den keramischen Sperrschichtkondensatoren (CBC) wird eine dünne Isolation zwischen Platten und Dielektrikum eingebracht. Dieser Typ lässt sich ohne besondere Probleme herstellen. Ein zweiter Typ von kleinen Kondensatoren mit hoher Kapazität stellt der keramische Vielschicht-Kondensator (CMC) dar. Dieser besitzt einen hohen Kapazitätsbelag und lässt sich leicht automatisch herstellen. Vorläufig sind CMC-Kondensatoren allerdings nicht billig, da teures Edelmetall wie Palladium zu ihrer Herstellung verwendet wird.

Nachdem es nun aber den Philips-Laboreinheiten gelungen ist, das Palladium durch Silber oder gar Nickel zu ersetzen, indem durch Zusätze die hohe Fertigungstemperatur um einige hundert Grad gesenkt werden konnte, hat der Vielschicht-Kondensator gute Chancen, nicht nur den hohen technischen, sondern auch den wirtschaftlichen Anforderungen zu genügen.

R. Zwahlen