Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 23

Artikel: Die Ablösung elektromechanischer Schaltelemente durch Möglichkeiten neuer Technologien

Autor: Kölpin, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904304

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: 10.12.2025

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

Die Ablösung elektromechanischer Schaltelemente durch Möglichkeiten neuer Technologien

Th. Kölpin

Das traditionelle elektromechanische Schalten wird heute durch neue Technologien abgelöst, wenn durch deren Eigenschaften die gestellten Aufgaben besser erfüllt werden können. Dies ist z. B. bei der Datenverarbeitung oder bei komplexen Steuerungen der Fall. Elektromechanische Lösungen behaupten ihren Platz dagegen als Peripheriebausteine von Steuerungssystemen. An verschiedenen Beispielen werden Stand und Aussichten der Ablösung dargestellt und die Gründe hierfür angegeben.

Les organes électromécaniques de couplage sont maintenant remplacés par de nouvelles techniques, lorsque leurs propriétés permettent de mieux satisfaire aux tâches à accomplir. C'est par exemple le cas pour le traitement des données ou pour des commandes complexes. Les organes électromécaniques conservent toutefois leur place comme éléments périphériques de systèmes de commande. Divers exemples montrent l'état et les perspectives de cette substitution, ainsi que les motifs.

Deutsche Fassung des Einführungsvortrages, den der Autor in englischer Sprache am 15. September 1986 anlässlich der 13. Internationalen Tagung über elektrische Kontakte gehalten hat.

Adresse des Autors
Dr.-Ing. *Thomas Kölpin*, Siemens AG, D-8450 Amberg.

1. Einführung

Die Funktion «Schalten» ist grundlegend für die gesamte Elektrotechnik und hat lange Tradition. Das elektromechanische Relais war bereits 75 Jahre alt, als 1904 mit *Flemings* Glühkathodenröhre [22] die Geburtsstunde der Elektronik schlug. In den folgenden vier Jahrzehnten entwickelten sich Elektromechanik und Elektronik weitgehend unabhängig voneinander, wobei die Elektronik zunächst Wegbereiter der drahtlosen Nachrichtentechnik wurde. Die erste durchgreifende Ablösung elektromechanischer durch elektronische Schaltelemente begann 1945, als in Philadelphia der Rechner Eniac mit 18 000 Elektronenröhren in Betrieb genommen wurde. Durch die Erhöhung der Rechengeschwindigkeit um den Faktor 1000 waren die etwa 10 Jahre früher von *Konrad Zuse* entwickelten elektromechanischen Rechner technologisch überholt [1].

Der wirklich dramatische Aufschwung der Elektronik, dessen Ende auch heute noch nicht abzusehen ist, begann Mitte der 50er Jahre mit der Verfügbarkeit zuverlässiger Transistoren und beschleunigte sich 1959, als die ersten monolithisch integrierten Schaltungen hergestellt wurden. Auf dem Gebiet der Energietechnik erschienen in jener Zeit Germanium- und Siliziumleistungsdioden sowie die steuerbaren Thyristoren. Diese Elemente lösten neben den Dampfentladungsventilen auch die Kontaktstromrichter ab, die etwa 10 Jahre lang im Bereich niedriger Spannungen und grosser Ströme verwendet worden waren. Die Kontaktstromrichter hatten zwar den Vorteil geringerer Durchlassverluste, waren aber als komplizierte elektromechanische Maschinen verschleissbehaftet und wartungsbedürftig.

Schon dieser kurze Rückblick zeigt: Bei der Lösung technischer Aufgabenstellungen wird eine vorhandene Technologie dann durch eine andere ersetzt, wenn diese die gestellten Anforderungen insgesamt besser erfüllt. Die Anforderungen umfassen dabei verschiedene Aspekte wie Wirtschaftlichkeit, Betriebsverhalten, Verschleissfestigkeit usw., die im allgemeinen unterschiedlich gewichtet sind. Der Übergang auf eine neue Technologie wird daher kaum für alle Anwendungsfälle gleichermassen vorteilhaft und sinnvoll sein. Auf der anderen Seite kann eine Ablösung gefördert werden, wenn das Innovationspotential der neuen Technologie eine Ausweitung oder Verschiebung der ursprünglichen Anforderungen bewirkt. Hierdurch entsteht ein Rückkopplungseffekt, der vorhandene Vorteile der alten Technologie relativiert.

Vor diesem Hintergrund sollen im folgenden der heutige Stand und die Aussichten der Ablösung elektromechanischer Schaltelemente durch neue Technologien auf elektronischer Grundlage anhand verschiedener Beispiele diskutiert werden.

2. Grundlegende Eigenschaften

Tabelle I zeigt einen Vergleich ausgewählter Eigenschaften elektronischer und elektromechanischer Schaltelemente [2]. Es wird deutlich, dass die Vorteile der elektronischen Schaltelemente besonders im Bereich der Informationsverarbeitung liegen; die elektromechanischen Schaltelemente zeigen ihre Vorteile dagegen vor allem beim Schalten grösserer Lasten. Wegen der physikalischen Unterschiede können die beiden Technologien nicht auf allen Einsatzgebieten konkurrieren: Schalter in getakteten Systemen mit Ein- und Ausschaltzeiten im µs-Bereich lassen sich nicht mechanisch und Trennschalter nicht elektronisch realisieren! Andererseits gibt es aber eine Vielzahl von Anwendungsgebieten, wo grundsätzlich beide Technologien verwendbar sind. Diese Anwendungsgebiete sollen nun näher be-

Vergleich ausgewählter Eigenschaften der elektromechanischen und der elektronischen Schaltgeräte Tabelle I

Eigenschaft	Elektromechanisches Schaltgerät		Elektronisches Schaltgerät	
Lebensdauer	0		+	
Wartungsfreiheit	0		+	
Schalthäufigkeit	0		+	
Stör- und Zerstörfestigkeit	+		−	
Potentialtrennung	+		−	
Zwangsführung	+		−	
Funktionsvielfalt	0		+	
Raumbedarf	V: −	L: +	V: +	L: −
Verlustleistung	V: −	L: +	V: +	L: −
Kosten	V: −	L: +	V: +	L: −

+: günstig 0: ausreichend −: ungünstig V: Anwendung im Verknüpfungsbereich
L: Anwendung im Leistungsbereich

trachtet werden, wobei eine Unterteilung nach Signalgebern, Signalverarbeitung und Signalempfängern vorgenommen wird.

3. Signalgeber

Zur Erfassung nichtelektrischer Grössen wurde in der jüngsten Vergangenheit eine Vielzahl von Sensoren entwickelt. Zur Darstellung und Auswertung der verwendeten physikalischen Effekte sind ohnehin meist elektronische Mittel erforderlich, so dass elektromechanische Schaltelemente in neuen Sensorsystemen die Ausnahme sind.

Typische Beispiele sind berührungslose Näherungsschalter. Sie arbeiten auf kapazitiver, induktiver oder optischer Grundlage, sind durch schaltungstechnische Massnahmen weitgehend überlast- und kurzschlussfest [3] und haben grundsätzlich elektronische Ausgänge. Gänzlich neue Anwendungsgebiete erschliessen Näherungsschalter, die nach dem Prinzip der Laufzeitmessung von Ultraschallwellen arbeiten [4]. Sie bieten eine Palette analoger und digitaler Funktionen; elektromechanische Alternativen gibt es nicht.

Bei Zeitrelais finden sich heute neben elektronischen auch weiterhin elektromechanische Lösungen. Wesentlicher Vorteil der mechanischen Geräte ist die einfache Realisierbarkeit von Zeitadditionen bei Spannungsausfällen während der Ablaufzeit.

Für die Einflussnahme des Menschen auf industrielle Betriebsabläufe wird eine Vielzahl von Signalgebern verwendet, häufig in Form von Drucktastern. Aus wirtschaftlichen Gründen haben hier elektromechanische Lösungen nach wie vor einen sehr hohen Marktanteil. Sie sind elektrisch und mechanisch robust, ermöglichen gleichzeitig mehrere Schaltfunktionen und erfüllen sicherheitstechnische Anforderungen. Unterschiedlich ist dabei die elektrische Beanspruchung der Schaltelemente. In Figur 1 sind die bei elektromechanischen und elektronischen Steuerungen auftretenden Pegelbereiche angegeben. Während beim Signalgeber für elektromechanische Steuerungen Fragen des Kontaktabbrandes und des Schaltvermögens im Vordergrund stehen, ist bei Signalgebern für elektronische Steuerungen die Kontaktzuverlässigkeit bei kleinen Spannungen und Strömen vorrangig [2]. Universell verwendbare Lösungen benutzen heute die interne Parallelschaltung von Strombahnen in einem konventionellen Kontaktsystem. Hiermit werden Kontaktzuverlässigkeit und Schaltvermögen gleichermassen gewährleistet.

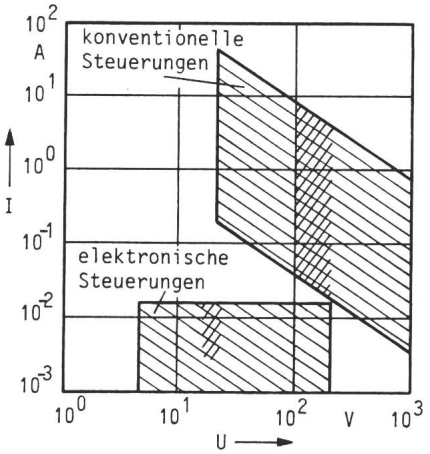

Fig. 1 Pegelbereiche für Signalgeber bei konventionellen und elektronischen Steuerungen
Bevorzugte Bereiche doppelt schraffiert.

Viele dieser Drucktaster besitzen mit der Zwangsöffnung [5] eine sicherheitsrelevante Eigenschaft, die elektronisch nur mit hohem Aufwand nachzubilden ist. Sicherheitsaspekte spielen auch eine grosse Rolle beim Einsatz mechanischer Positionsschalter zur Überwachung von Bewegungsabläufen.

Drucktaster, die nur mit elektronischen Steuerungen zusammenarbeiten, brauchen wegen der geringen Lastströme keine extrem niedrigen Übergangswiderstände zu haben. In diesem Bereich haben Folientastaturen und Kontakte aus leitfähigen Elastomeren eine gewisse Verbreitung gefunden, die trotz niedriger Kosten sehr zuverlässig arbeiten. In hochwertigen Geräten finden sich auch Drucktaster mit magnetisch betätigten Reed-Kontakten oder Hallsensoren [6], die aber für eine breite Anwendung zu teuer sind.

Ein weiteres Beispiel für einen elektromechanischen Signalgeber, der trotz elektronischer Alternativen weiterhin in grossen Stückzahlen gefertigt wird, ist der Bimetall-Temperaturschalter. Hohes Schaltvermögen ist bei ihm mit einer für viele Zwecke ausreichenden Genauigkeit und geringen Kosten kombiniert.

4. Signalverarbeitung

Wie schon eingangs erwähnt, liegen die Vorteile elektronischer Schaltelemente vor allem bei der Verarbeitung von Informationen. Das wichtigste Beispiel für die völlige Ablösung mechanischer Schaltelemente im Logikbereich ist die elektronische Datenverarbeitung. Ihren gewaltigen Aufschwung verdankt sie dem stetig sinkenden Verhältnis von Kosten zu Verarbeitungsleistung bei integrierten Schaltkreisen.

Figur 2 zeigt den Verlauf der Integrationsdichte und der Kosten proTransistorfunktion über der Zeit [7]. Physikalische Grenzen dieser Entwicklung sind zwar erkennbar [8], aber bei weitem noch nicht erreicht.

Die Fortschritte in der Halbleitertechnik beeinflussen auch industrielle Steuerungssysteme. Seit Anfang der 70er Jahre werden bei der Realisierung von logischen Verknüpfungen Schützensteuerungen zunehmend durch speicherprogrammierte Steuerungen ersetzt [9]. Leichte Änderbarkeit des Programmablaufs, verringerter Montageaufwand und leichte Dokumen-

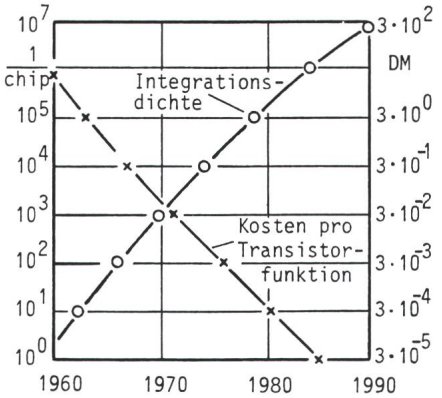

Fig. 2 Integrationsdichte und Kosten pro Transistorfunktion über die Zeit

tierbarkeit sind nur einige Vorteile dieser Technik. Ihr Einsatz wird heute ab etwa 10 ersetzten Hilfsschützen wirtschaftlich; für die Zukunft dürfte dieser Grenzwert noch abnehmen.

Weiterhin Verwendung finden die Hilfsschütze dagegen in kleinen Steuerungen geringer Verknüpfungstiefe und insbesondere als Signalempfänger, die die Ausgangssignale elektronischer Steuerungen in wirtschaftlicher Weise auf höhere Leistungspegel umsetzen [10]. Diese Anwendung zeigt steigende Tendenz. Ferner behaupten die Hilfsschütze ihren Platz beim Aufbau von Sicherheitssteuerungen, da sich die geforderte mechanische Zwangsführung [11; 5] relativ leicht verwirklichen lässt. Die Mehrzahl der Geräte ist durch konstruktive Massnahmen für die Zusammenarbeit mit der Elektronik ertüchtigt; dies betrifft z.B die Kontaktzuverlässigkeit und Möglichkeiten zur Bedämpfung von Abschaltüberspannungen [2].

Auch bei Relaissteuerungen sind ähnliche Entwicklungen zu beobachten. Umfangreiche, zum Teil sicherheitsgerichtete Systeme wie z.B. in der Eisenbahnsignaltechnik [12] werden wegen der in Tabelle I aufgezählten Vorteile zunehmend durch elektronische Systeme ersetzt. Die Ablösung wird durch die umfassenden Informations- und Dokumentationsmöglichkeiten unterstützt, die bei elektronischer Signalverarbeitung gegeben sind.

Eine wichtige Voraussetzung für das Vordringen elektronischer Steuerungen war das Erreichen einer hohen Störfestigkeit. Moderne Systeme arbeiten durch umfangreiche konstruktive, schaltungstechnische und Software-Massnahmen auch in elektromagnetisch rauher Umgebung störungsfrei.

In den Vermittlungssystemen der Fernmeldetechnik hat die in vollem Gang befindliche Ablösung elektromechanischer durch elektronische Schaltelemente drei Hauptgründe [13]: Verringerung des Lohnkostenanteils an den Gerätekosten, geringerer Wartungsaufwand und Raumbedarf sowie die Möglichkeit zur Einführung neuer Dienstleistungen und Übertragungssysteme. Wegen der langen Lebensdauer der vorhandenen Einrichtungen wird sich dieser Ablöseprozess ähnlich wie bei der Eisenbahnsignaltechnik über Jahrzehnte erstrecken.

Weitere Anwendungsbereiche, in denen elektromechanische Schaltelemente durch elektronische verdrängt werden, sind Regler [16], Schutzrelais [17] und Auslöser. Elektronische Lösungen bieten hier grössere Genauigkeit, Lebensdauer und Funktionsvielfalt bei wesentlich geringerem Bauvolumen. Ihr Einsatz wird zunehmend wirtschaftlicher.

Einen Sonderfall stellen die Programmsteuergeräte dar, die in Haushaltsmaschinen Verwendung finden. Sie vereinigen Signalgeber und Signalverarbeitung auf mechanischem Wege und sind auch zum direkten Schalten grösserer Lasten geeignet. Obwohl für diese Anwendungen wiederholt elektronische Steuerungen propagiert wurden [14; 15], konnten sich diese bisher nicht auf breiter Front durchsetzen. Gründe hierfür sind die relativ hohen Kosten und die damit niedrige Akzeptanz beim Verbraucher, die mechanisch noch gut beherrschbare geringe Verknüpfungstiefe sowie das Problem, leistungsstarke Lastkreise sicher und wirtschaftlich zu steuern. Die Tendenz geht zurzeit in Richtung hybrider Systeme, bei denen elektronisch gesteuerte Teilfunktionen mit einem vereinfachten elektromechanischen Programmsteuergerät vereinigt sind.

5. Signalempfänger

Dem Thema entsprechend, werden im folgenden als Signalempfänger nur Schaltgeräte betrachtet. In Laststromkreisen höherer Stromstärke behaupten elektromechanische Schaltgeräte unverändert das Feld. Gegen einen breiten Einsatz leistungselektronischer Schaltelemente sprechen neben den aus Tabelle I ersichtlichen physikalischen Nachteilen vor allem die wesentlich höheren Kosten dieser Lösungen.

Figur 3 zeigt für verschiedene Technologien den Bereich des Preises pro Kilowatt über der geschalteten Leistung. Die Gebrauchskategorie AC-1 wurde gewählt, da hierfür die technischen Daten der Geräte am ehesten vergleichbar sind. Es zeigt sich, dass der spezifische Preis bei Schützen und Leistungsrelais nur wenig von der geschalteten Leistung abhängt und typisch im Bereich von 1...5 DM/kW liegt. Schaltgeräte mit aufwendiger Technologie – und hierzu zählen auch die hochwertigen elektromechanischen Steuerrelais – erfordern dagegen einen leistungsunabhängigen Grundaufwand. Ihr spezifischer Preis nimmt deshalb mit zunehmender Leistung ab, liegt aber immer deutlich über dem elektromechanischer Leistungsrelais oder Schütze. Der wirtschaftliche Einsatz voll- oder teilelektronischer Schaltgeräte beschränkt sich deshalb

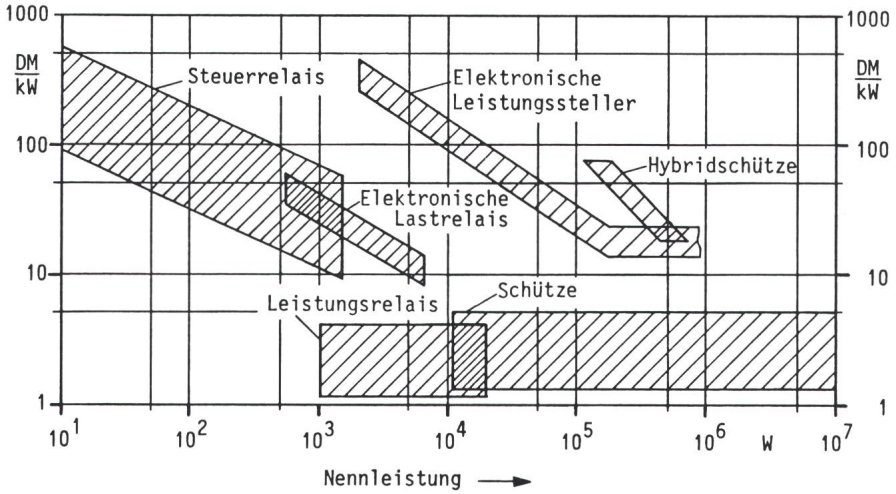

Fig. 3 Elektromechanische und elektronische Schaltgeräte: Preis pro kW als Funktion der Nennleistung
Listenpreise verschiedener Hersteller, Gebrauchskategorie AC-1.

auf Anwendungsfälle, bei denen der höhere Preis dieser Lösungen durch die Vorteile der Elektronik aufgewogen wird.

Im Bereich kleiner Leistungen gilt dies z. B für Lampensteuerungen mit hoher Schalthäufigkeit, wie Verkehrsampeln oder Leuchtreklamen. Bei den hier eingesetzten elektronischen Lastrelais [18] verringern ausserdem eingebaute Nullpunktschalter oder Phasenanschnittsteuerungen die Einschaltströme der kalten Glühfäden. Damit wird die Lebensdauer der Lampen auch wesentlich erhöht.

Im Bereich hoher Leistungen werden zum Schalten von Motoren im extremen Schwerlastbetrieb gelegentlich Hybridschütze eingesetzt. Bei diesen Geräten werden zum Schalten Leistungshalbleiter, zum Stromführen dagegen mechanische Kontakte verwendet. Hybridschütze werden dann wirtschaftlich, wenn die Betriebsbedingungen der Motoren während der Lebensdauer der Anlage ein häufiges Auswechseln grosser Schütze erfordern würden.

Drehstrom-Asynchronmotoren werden oft über Stern-Dreieck-Schützkombinationen eingeschaltet. Den elektromechanischen Schaltgeräten erwächst hier für bestimmte Einsatzfälle eine Konkurrenz durch elektronische Sanftstarter [19], bei denen der Motor mit einer Phasenanschnittsteuerung kontrolliert angelassen wird. Diese leistungselektronischen Geräte verringern die mechanische Beanspruchung von Motor und Antrieb ganz wesentlich. Trotz ihres gegenüber elektromechanischen Schaltgeräten deutlich höheren Preises können sie wegen des verringerten Verschleisses an Motor und Arbeitsmaschine und möglicher Energieeinsparungen im Teillastbereich durchaus wirtschaftlich sein.

Das Vordringen leistungselektronischer Lösungen zeigt sich besonders bei der Drehzahlstellung von Asynchronmotoren. Statt Schleifringläufermotoren mit elektromechanisch umschaltbaren Anlassstellwiderständen werden heute preiswerte Kurzschlussläufermaschinen mit Stromrichterspeisung verwendet. Die höheren Kosten des Stromrichters werden hier durch die geringeren Kosten des Motors und die erhebliche Energieeinsparung im Betrieb ausgeglichen.

Die Ablösung elektromechanischer Leistungsschalter durch elektronische Schaltelemente ist in absehbarer Zeit nicht zu erwarten. Die geringen Durchlassverluste, das hohe Energieaufnahmevermögen, Sicherheitsaspekte und das gute Preis-Leistungs-Verhältnis sprechen hier klar für die elektromechanischen Lösungen.

Interessante Aspekte zeigen sich bei Signalempfängern zum Schalten kleiner Leistungen auf der Basis elektromechanischer Relais. Durch das Hinzufügen elektronischer Ansteuerbausteine [20] kann das Verhalten dem jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Mit einem bistabilen Relais wird so z. B eine monostabile Funktion ohne Halteleistungsbedarf realisiert.

Für den Ersatz elektromechanischer Schaltelemente bei niedrigen Gleichspannungen und Strömen im Bereich von 10 A werden neuartige MOS-Leistungshalbleiter mit integrierten Logik- und Überwachungsfunktionen angeboten [21]. Die Elemente sind kurzschluss- und überlastfest sowie CMOS- und TTL-kompatibel, wobei ein Statusausgang Rückmeldungen zur Steuerung gestattet. Als Einsatzgebiet ist u.a. die Kraftfahrzeugelektronik vorgesehen. Die Zukunft wird zeigen, ob diese Elemente eine wirtschaftlich interessante Alternative zum heute noch vorherrschenden elektromechanischen Relais werden.

Literatur

[1] *A.P. Speiser:* Von der Elektromechanik zur Elektronik. Elektroniker 17(1978)12, S. 26...29.

[2] *T. Kölpin:* Elektronikgerechte Niederspannungs-Schaltgeräte. Vortrag des 8. VDE-Kontakt-Seminars des VDE-Fachausschusses «Kontaktverhalten und Schalten», 2.–8. Oktober 1985, Universität Karlsruhe.

[3] *B. Kirschbaum:* Kurzschlussfestigkeit und Überlastungsschutz auch für hohe Spannungen. Elektro-Anzeiger 26(1986)2, S. 48...49.

[4] *P.-C. Gleichfeld* und *B. Haus:* Ultraschall-Näherungsschalter BERO – ein robuster Distanzsensor für industrielle Anwendungen. Siemens-Energietechnik, Produktinformation 3(1983)3, S. 8...11.

[5] Appareillage à basse tension. Première partie: Règles générales. CEI – Projet 17B(Bureau Central)123-I + II, novembre 1984.

[6] Schalter für Gerätebau. Die scheinbar Einfachen. Elektronik Entwicklung 17(1982)11, S. 28...36.

[7] Zum Thema Mikroelektronik. München, Siemens AG, 1985.

[8] *J.A. Cooper:* Limitations on the performance of field-effect devices for logic applications. Proc. IEEE 69(1981)2, p. 226...231.

[9] *H. Weidle:* Speicherprogrammierte Steuerungen. Herion Informationen 20(1981)1 S. 55...56.

[10] *G. Schulze:* Schütz, Relais oder Elektronik? – Bewertungskriterien bei der Planung von Steuerungen. Elektrodienst 22(1980)3, S. 20...22.

[11] Sicherheitsregeln für Steuerungen an kraftbetriebenen Pressen der Metallbearbeitung. ZH 1 Schriften 457. Bonn, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., 1978.

[12] *R. Gohlke:* Elektronische Stellwerke für die Deutsche Bundesbahn. Siemens Zeitschrift 58(1984)2, S. 2...4.

[13] *K.L. Plank:* Übergang von der Elektromechanik zur Elektronik in Vermittlungssystemen. VDE-Fachberichte 29(1976), S. 134...141.

[14] *G. Wegner:* Schaltungstechnik moderner Spül- und Waschgeräte. IKZ 39(1984)22, S. K25...K26, K28...K30 + K32.

[15] *U. Schmidt:* Hat der Mikrocomputer bei Haushaltgeräten Zukunft? EM Elektrotechnik 30(1979)1, S. 53...56.

[16] *W.W. Terry:* Solid-state replacement for electromechanical voltage regulators. IEEE Trans. PAS 104(1985)1, p. 40...44.

[17] Recent advances and future trends in solid state protection. Electrical Engineer 61(1984)8, p. 20...24.

[18] *W. Brünnler:* Auswahlkriterien elektronischer Lastrelais im Vergleich zu elektromechanischen und Anwendungsbeispiele. Elektroniker 23(1984)13, S. 77...81.

[19] *A. Neubig:* Neue elektronische Motorstarter 3RW1 SIKOSTART. Siemens Energie und Automatisation Produktinformation Standarderzeugnisse 5(1985)2, S. 9...11.

[20] *G. Taubitz:* Relais als Bindeglied zwischen elektronischer Steuerung und Antrieb. Antriebstechnik 23(1984)8, S. 20...30.

[21] SMART SIPMOS – der unzerstörbare Leistungsschalter. Siemens Components 24(1986)2, S. 80.

[22] *H. Wüger:* Pioniere der Elektrotechnik, Rubrik im Bulletin SEV/VSE John Ambros Fleming 1849...1945. 61(1970)21, S. 1026.