

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: 68 (1977)

Heft: 6

Artikel: Rechnergesteuerte Prüfung von Elektronikplatten

Autor: Schenkel, A. / Rurack, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915011>

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: 19.01.2026

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

Rechnergesteuerte Prüfung von Elektronikplatten

Von A. Schenkel und J. Rurack

621.3.049.7 : 621.317.089.6 : 681.513.2

Die Prüfung von Elektronikplatten wird durch die hohe Bestückungsdichte und immer komplexere Schaltungsfunktionen zunehmend schwieriger. Eine einwandfreie Qualitätssicherung in der Produktion verlangt umfangreiche Prüfabläufe, die nur von einer rechnergesteuerten Anlage rasch und zuverlässig ausgeführt werden können. Es werden die grundlegenden Probleme und ein Lösungskonzept dargelegt und eine ausgeführte Anlage beschrieben.

La complexité toujours croissante des circuits électroniques et la haute densité d'implantation des composants rendent le contrôle des cartes de circuits imprimés de plus en plus difficile. La garantie d'une qualité de production parfaite exige des opérations de contrôle qui ne peuvent être exécutées que par un banc de test assisté d'un ordinateur. La présentation des problèmes fondamentaux et d'une solution concevable ainsi que la description d'un banc de test réalisé font l'objet de cet article.

1. Voraussetzungen für rechnergesteuerte Prüfungen

Elektronische Geräte unterlagen in den vergangenen zwei Jahrzehnten markanten Veränderungen hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Platzbedarf, Anwendung und Zuverlässigkeit. Aus der Sicht des Entwicklungsingenieurs ist dafür in hohem Masse die unaufhaltsame Evolution der Bauelemente verantwortlich, voran diejenige der integrierten Schaltungen. Damit wird der Ingenieur immer mehr der Kleinarbeit von Berechnung und Entwicklung einfacher Schaltungsstufen entlastet; der Schwerpunkt seiner Tätigkeit verschiebt sich in Richtung modularer Aufbau komplexer Funktionseinheiten. Die Kenntnis von genauen Elementespezifikationen ermöglicht zusammen mit der anwenderfreundlicheren Laborinstrumentierung eine bedeutsame Steigerung des Entwicklungspotentials des einzelnen Schaltungsentwicklers. Für die Konstruktion und Fertigung zeigen sich die Vorteile der modernen Technologie nicht so klar. Durch den integrierten Aufbau von Funktionsstufen hat zwar der Platzbedarf, die Zahl der Verbindungen zwischen den Elementen und die Anzahl der elektromechanischen Aufbau Probleme stark abgenommen, gleichzeitig sind aber die Anforderungen an die Präzision von Layout und an die kompakte Anordnung stark gestiegen. Probleme der gegenseitigen Störung und der thermischen Belastung stehen vermehrt im Vordergrund; beides sind häufig Grenzfaktoren für den Schaltungsaufbau.

Neue Technologien und Hilfsmittel sind auch für die Herstellung geschaffen worden. Davon seien hier lediglich die automatische Bestückung mit Elementen und maschinelle Löttechniken erwähnt. Dennoch ist es kein Geheimnis für den Praktiker, dass längst gelöste Probleme, wie Feinätztechnik, Multilayerplatten und Durchkontaktierungen im Alltag immer wieder Anlass zu Problemen sein können.

Im Lichte dieser Schwierigkeiten erhält die Aufgabe der Qualitätssicherung des fertigen Produkts einen ganz besonderen Stellenwert. Hier zeigt sich, dass die integrierte Schaltungstechnik grundsätzliche Probleme beim Prüfen aufwirft und dem Prüfenieur nicht die gleichen Vorteile bringt wie dem Entwicklungsingenieur. Daher wurde bereits vor längerer Zeit die Bedeutung und wirtschaftliche Notwendigkeit erkannt, auch dem Schaltungsprüfer eine geeignete Unterstützung zu gewährleisten. Das Ziel ist dabei die rechnergesteuerte Prüfung von Schaltungsplatten und Baugruppen. Als Ausgangspunkt für diese Zielsetzung dient eine Analyse über die typischen Fehler auf einer Schaltungsplatte, die sich wie folgt auflisten lassen:

| | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| – Leiterbahnen: | Unterbrüche durch Haarrisse Kurzschlüsse durch Ätzfehler Fehlerhafte Durchkontaktierungen |
| – Lötfehler: | Oxydierte Elementanschlüsse Kurzschlüsse durch Zinnspritzer |
| – Bauteile: | Defekte Bauteile Nicht eingehaltene Toleranzen Falsche Beschriftung |
| – Stecker, Verdrahtung: | Verwechslungen Drahtbrüche Kurzschluss durch Isolationsdefekt |
| – Bestückung: | Falsche Elemente (falscher Typ, falscher Wert) Falsche Polung oder Kontaktreihenfolge |
| – Abgleich: | Falscher oder unvollständiger Abgleich, Nicht gesicherte Abgleichelemente |

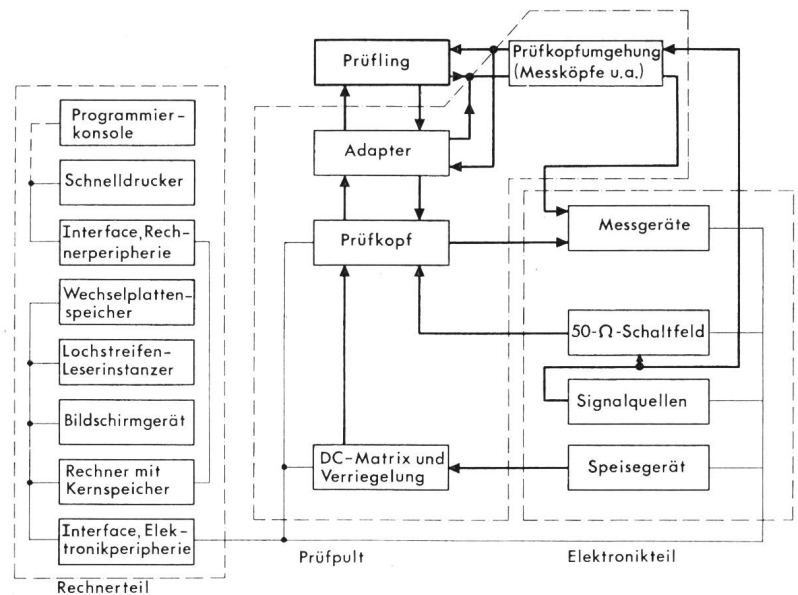
Trotz weitgehender Vorprüfung der Elemente zeigt die Erfahrung, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einem Fehler gross ist. Ein einfacher GO/NOGO-Test wird die Mehrzahl komplexerer Schaltungsplatten ausscheiden. Ein solcher Test allein – wie er vereinzelt durch Austausch mit einer bekannten, guten Musterplatte vorgenommen wird – ist meist wertlos. Ein positives Resultat gibt keine Gewähr für korrekte Teilfunktionen, ein negatives keinen Ansatz zur Fehlersuche. Es ist beunruhigend festzustellen, dass nicht selten komplexe Schaltungsplatten bei einer konventionellen Handprüfung Prüfzeiten von ganzen Stunden beanspruchen können. Die Herstellung von prüflingsspezifischen Testgeräten kann hier Abhilfe schaffen, ist aber nur lohnend bei genügend grossen Fabrikationslosen. Für kleine Stückzahlen ist der Aufwand zur Bereitstellung von Prüfmitteln oft ebenso gross wie bei der manuellen Prüfung.

Eine Analyse im Hinblick auf eine Automatisierung zeigt vor allem die folgenden Einzelschritte, die in jedem Prüfablauf häufig vorkommen:

- Anschliessen von Speisegeräten, Signalquellen und Messgeräten an den Prüfling
- Einstellen von Speisegeräten (Spannung, Strom ...), Signalquellen (Frequenz, Amplitude ...) und Messgeräten (Bereich, Trigger ...)
- Ablesen der Messgeräte
- Vergleich der Messwerte mit dem Toleranzschema in den Prüfvorschriften
- Protokollierung der Resultate
- Entscheid über die Fortsetzung der Prüfung oder die Rückweisung des Prüflings zur Justierung oder Reparatur
- Freigabe des vollständig getesteten Prüflings

Fig. 1

Gesamtkonzept der rechnergesteuerten Prüfanlage COMTESSA



In Anbetracht dieser Liste erscheint der Aufbau eines universellen, aber manuell bedienten Prüfplatzes für einfachere Prüfungen sinnvoll. Komplexere Abläufe können dagegen nur mit einer «intelligenten» Steuerung bewältigt werden, wie sie ein Prozessrechner ermöglicht. Dieser vermag Entscheidungen zu treffen und gezielt in den Prüfablauf einzugreifen. Die dazugehörige Systemsoftware ermöglicht überdies problemlos, die anfallenden Messdaten zu speichern, zu protokollieren und für eine spätere statistische Verarbeitung bereitzuhalten. Aus den letztgenannten Gründen werden dazu vor allem Minicomputer mit genügend ausgebauter Peripherie (Terminal, Plattenspeicher, Schnelldrucker) eingesetzt, doch ist auch hier der Einbruch von Mikroprozessoren in vollem Gange.

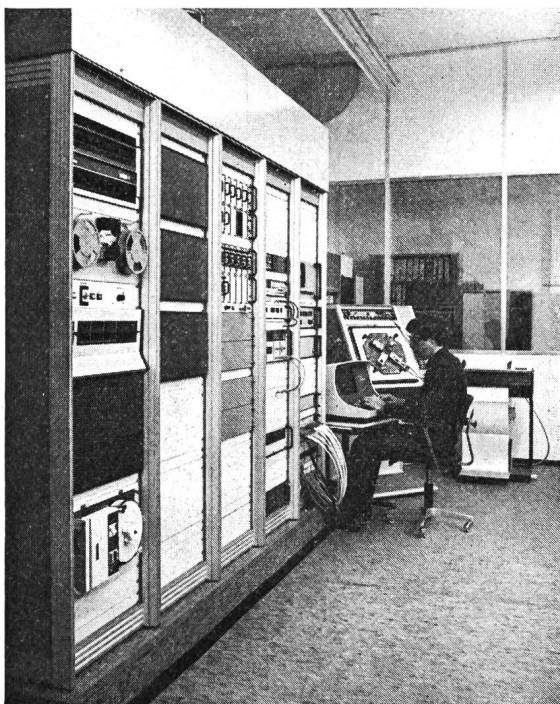


Fig. 2 Gesamtansicht der Prüfanlage COMTESSA

Im Vordergrund Rechner, Interfaces und Elektronikperipherie in den Schränken, im Hintergrund Bildschirmgerät, Prüfpult mit Adapter und Schnelldrucker

2. Struktur einer rechnergesteuerten Prüfanlage

Mit den angeführten Aspekten lässt sich eine passende Struktur für einen Prüfautomaten entwickeln. Allerdings zeigen sich grundsätzliche Unterschiede zwischen Automaten, die ausschliesslich digitale Prüflinge zu testen und solchen, die analoge Schaltungsfunktionen zu erfassen haben. Für digitale Prüflinge beschränkt sich der Einsatz des Rechners auf die Generation und die Analyse komplexer Digitalsignale, welche die Prüfung mit Hilfe umfangreicher Wahrheitstafeln vornehmen. Der grosse Nutzen des Rechners liegt in der leichten Programmierbarkeit, der Flexibilität der Signalzeugung und der hohen Geschwindigkeit der Analyse. Solche Automaten sind in verschiedenen Ausführungen konfektioniert im Handel.

Für die Prüfung analoger oder hybrider Schaltungen ist die Ausnützung der Intelligenz einer Prozessrechnersteuerung weitreichender und umfasst alle Punkte, die als häufig vorkommende Schritte in der Prüfung aufgezählt wurden. Die anschliessende Beschreibung eines Automaten stützt sich auf eine Anlage, die vornehmlich zur Prüfung von analogen und gemischten Schaltungsplatten aus der Ortungstechnik dient. Die Anlage, im folgenden mit dem Namen COMTESSA¹⁾ bezeichnet, ist nach dem in Fig. 1 dargestellten Konzept aufgebaut und gliedert sich in 3 Hauptteile:

- Prüfpult mit Adapter und Prüfkopf (verdrahtungskritische Teile)
- Elektronikperipherie mit anwendungsspezifischen Speisegeräten, Signalquellen und Messgeräten
- Rechner mit Interfaces zur Elektronik- und Rechnerperipherie

Fig. 2 zeigt das freistehende Prüfpult als zentralen Teil für die Aufnahme des Prüflings, die 5 Schränke mit der Elektronik, dem Rechner und den Interfaceeinheiten sowie teilweise freistehende Peripheriegeräte des Rechners.

Das gewählte Konzept hat allgemeine Gültigkeit und findet sich mit geringen Abweichungen bei anderen Anlagen mit vergleichbarer Komplexität wieder. Die Bedürfnisse des Anwenders widerspiegeln sich dagegen ausgeprägt in der Wahl der Speisegeräte, der Quellen und der Messgeräte. Der

¹⁾ COMTESSA: COMputergesteuertes TEst System Siemens-Albis

Adapter und der verdrahtungskritische Prüfkopf sind diejenigen Teile, die am stärksten an den Prüfling und seine Funktion angepasst sein müssen – dies sowohl in elektrischer als auch in mechanischer Hinsicht. Prüfautomaten grösseren Umfangs für Analogschaltungen werden in der Regel aus diesen Gründen nach den Spezifikationen des Benützers aufgebaut. Häufig lässt sich dabei auf eine modulare Bauweise zurückgreifen, wenn gleiche Geräte in verschiedenen Anlagen eingesetzt werden sollen. Solche Module, die in der Regel aus einer Quelle oder einem Messgerät mit dem zugehörigen Interface und dem Programmpaket bestehen, erlauben einen einfachen individuellen Auf- und Ausbau einer Anlage. Die Auswahl der Bausteine erfolgt aufgrund der allgemeinen Anforderungen an die Anlage, die folgendermassen zusammengefasst werden können:

- Freistehendes Prüfpult mit einfacher, zuverlässiger Prüfungsadaption an den universellen Prüfkopf
- Allgemeiner Frequenzbereich für Signalquellen und Messgeräte von 0...>20 MHz, unter Umgehung des Prüfkopfes von 0...>500 MHz.
- Speisungen im Bereich von 0...100 V und max. 5 A mit wenigstens 5 verschiedenen Quellen.
- Messgeräte für Spannungen, Widerstände, Frequenzen, Zeiten und Wellenformen.
- Elektronische Verriegelung sinnloser Schaltungen wie Anschaltung mehrerer Quellen an einen Punkt oder Anschaltung eines Messgerätes an mehrere Punkte.
- Einfache, gerätebezogene Programmierung mit guter Mnemonik.
- Gut ausgebaute Rechnerperipherie für raschen Programmwechsel, Protokollausgabe und flexible on/off-line-Programmerstellung.

3. Quellen

Die Quellen liefern die für den Prüfling nötigen Speisungen und Signale. In COMTESSA sind neben den Speisegeräten im Hinblick auf den grossen zu überdeckenden Frequenzbereich ein Funktionsgenerator, ein Messender und zwei Pulsgeneratoren enthalten.

Als Signalquelle im erweiterten Sinne ist auch ein 16-bit-Rechnerwort aufzufassen, welches in Paralleldarstellung mit galvanischer Trennung, je 1 bit pro Sektor, am Prüfkopf zur Verfügung steht. Durch direkte Programmierung des Interfaces können digitale Prüflinge auf TTL²⁾-Pegel direkt angesteuert werden.

4. Messgeräte

Die Messgeräte sind beschränkt auf die Messung der grundlegenden Parameter: Spannung, Widerstand, Zeiten/Frequenzen und Wellenformen. Durch die Möglichkeit der raschen Anschaltung lassen sich die Messungen mit verschiedenen Geräten sequentiell ausführen: Es ist somit immer nur ein Gerät im Betrieb. Die Messgeräte in COMTESSA sind folgendermassen spezifiziert:

Digitalmultimeter:

| Messgrösse | Bereiche | Vollanzeige | Auflösung |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| Gleichspannung | 6, dek. | 10 mV...1000 V | 4 1/2 digits |
| Wechselspannung | 4, dek. | 1 V...1000 V | 4 1/2 digits |
| Widerstand | 6, dek. | 100 Ohm...10 MOhm | 4 1/2 digits |

Betriebsarten: freilaufend, getriggert, gefiltert. Das Gerät vermag bei Einstellung DC ohne Filter 400 Messungen/s, auszuführen; damit wird die Abtastung langsamer Wellenformen möglich.

²⁾ Transistor-Transistor Logic

Zähler:

Messgrössen: Frequenz, Periode, Zeitintervall, Frequenzverhältnis, Ereignis

| | | |
|------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|
| Zeitbasisfehler: | < 10 ⁻⁷ | Torzeit: 100 µs...10 s |
| Zählfrequenz: | 10 MHz | Frequenzbereich: 120/520 MHz |
| Empfindlichkeit: | 30 mVpp | Triggerung: pos./neg., AC/DC |
| Triggerpegel: | ± 1 V/10 V in Schritten von 1 %, Fehler < 1 % | |

Das *Samplingoszilloskop* ist das komplexeste Gerät der Anlage. Es ist mit 10 Proben ausgerüstet, wovon 2 fest im Prüfkopf eingebaut sind. Die übrigen sind manuell über die Prüfkopfumgehung steckbar. Ein im Prüfpult eingebauter Multiplexer erlaubt die Auswahl von zwei Messkanälen, wobei die Spannungsbereiche 20 mV bis 100 V, die Zeitbereiche 2 ns bis 1 s mit Anstiegszeiten von 1 ns (Proben mit programmierbarem Abschwächer) oder 0,35 ns (externe Proben mit steckbarem Abschwächer) überdecken. Die Messung erfolgt entweder als Zeitmessung zwischen dem Durchlaufen zweier vorgewählter Spannungspegel (Spannungsfenster) oder als Spannungsmessung zwischen zwei vorgegebenen Zeitwerten (Zeitfenster). Durch programmierte Verschiebung der Fenster lässt sich somit eine periodische Wellenform abtasten und in den Rechner übernehmen. Aus den Abtastwerten lassen sich dann mittels schneller Fouriertransformation auch die entsprechenden Spektren bestimmen (Software-Waveanalyzer).

5. Prüfkopf und Adapteraufnahme

Als zentrales Problem stellt sich die Aufgabe, einen elektrisch und mechanisch einwandfreien Übergang zum Prüfling herzustellen. In elektrischer Hinsicht besteht die Forderung nach kleiner Induktivität, Streukapazität und gegenseitiger Beeinflussung. Ebenso muss eine zuverlässige, reproduzierbare Kontaktierung gewährleistet sein. Die Auflage an die Mechanik besteht darin, unterschiedliche Prüflinge mit wahlweisem Zugriff zu den Prüfpunkten nach folgender Art aufzunehmen:

- Kontaktierung über den normalen Platinenstecker
- Kontaktierung über speziell (z. B. seitlich) angebrachte Prüfstecker
- Kontaktierung über Prüfinselfen oder Prüfstifte auf der Leiterplatte
- Direkte Kontaktierung der Leiterbahnen über Federstifte

Bei COMTESSA wurde diese weitreichende Flexibilität durch die Benützung einer Adapterplatte erreicht, welche für die Aufnahme des Prüflings die nötigen Anpassungen ermöglicht. Der Prüfkopf selbst ist zylindrisch angeordnet und in 16 identische Sektoren aufgeteilt, um minimale Leitungslängen zu erhalten. Jeder Sektor besteht aus einer Schaltungsplatte mit Stecker, welcher jeweils 8 Verbindungen (Pins) mit Doppelkontakten zum Adapter herstellt. Die nötige Führungsgenauigkeit und Einpresskraft für die 128 Doppelkontakte kann nur von einer präzisen, hebelbetätigten Einzugsmechanik gewährleistet werden. In den Fig. 3 und 4 sind der Prüfkopf und eine Adapterplatte abgebildet. Im Prüfkopf selbst sind etwa 400 Reedrelais gedrängt untergebracht, zudem sitzen im Zentrum fest eingebaut 2 Messproben des Oszilloskops mit programmierbaren Abschwächern. Es ist damit gelungen, Prüfungen bis ungefähr 20 MHz in 50-Ohm-Systemen problemlos zu ermöglichen. Für höhere

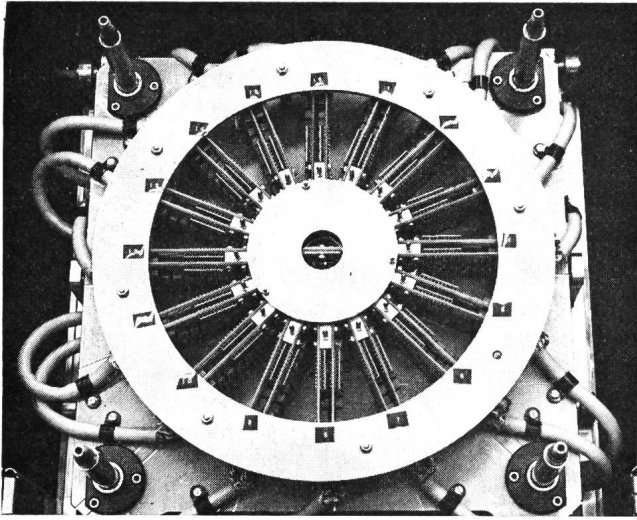


Fig. 3 Prüfkopf mit Messgeräte- und Quellenmatrix in 16 Sektoren gegliedert

Jeder Sektor ermöglicht 8 Verbindungen zum Adapter über Doppelkontakte

Frequenzen (bis ca. 1000 MHz) ist die direkte Signalführung und Messung über eine Prüfkopfumgehung zu wählen.

Die grosse Zahl von Relais im Prüfkopf erklärt sich aus der Aufteilung in die folgenden Matrixfunktionen:

Messgerätematrix: Der Verzicht, gleichzeitig mehrere Messungen durchzuführen, führt auf die Grundforderung, zwei Anschlüsse für ein Messgerät je an einen beliebigen Prüflingsanschluss legen zu können. Diese Forderung erfüllt die Messgerätematrix; überdies erlaubt sie, einen der möglichen Messgeräteeingänge aus folgender Auswahl zu belegen: Multimeter high/low, Oszilloskop Eingang A und B, ferner Zähler A und B. Jeder dieser Eingänge ist mit einem gerätespezifischen Kabel (50-Ohm-System oder kapazitätsarm) bis zum Prüfkopf geführt.

Matrix für Signalquellen: Für die Signalführung werden dem Prüfkopf zwei 50-Ohm-Leitungen zugeführt. Die Signalverteilung im Prüfkopf selbst wird von der Quellenmatrix übernommen. Damit diese auf eine vertretbare Grösse beschränkt bleibt, wurde die Aufschaltmöglichkeit für die eine Signalführung auf 2 Pins pro Sektor, für die andere auf 1 Pin pro Sektor eingengt. Sowohl die Quellen-

matrix als auch die Messgerätematrix werden gegenüber sinnlosen Kombinationen durch eine eigene Logik elektronisch verriegelt.

6. Schaltmatrizen

Ausserhalb des Prüfkopfes sind zwei weitere Schaltmatrizen vorhanden. Für Signalquellen ist ein 50-Ohm-Schaltfeld mit je 10 Zeilen und Spalten in der Art einer Kreuzschaltmatrix eingebaut. Einzelne Zuführungen sind zudem noch mit Koaxialumschaltern versehen. Diese Matrix führt die gewählten Quellenausgänge über eine beschränkte Anzahl von Koaxialleitungen zum Prüfkopf oder zur Prüfkopfumgehung im Prüfpult. Ebenso sind auf diese Matrix die wesentlichen Ein- und Ausgänge der Signalquellen für Modulation, Triggerung und Tastung geführt; sinnvolle Zusammenschaltungen der Geräte sind dadurch leicht möglich. Die in Streifenleitertechnik ausgeführte Matrix ist ebenfalls spaltenweise verriegelt.

Eine andere Matrix (DC-Matrix) übernimmt die Speisung des Prüflings aus den gewählten Speisegeräten. Damit die programmierte Spannung tatsächlich am Prüflingsanschluss liegt und nicht nur am Ausgang des Gerätes, sind grundsätzlich alle Regelleitungen über separate Kontakte auf den Adapter geführt und am Prüflingsanschluss verbunden. Da jedes Speisegerät auf jeden Pin des Prüfkopfes schaltbar ist, führt dieses Doppelkontaktprinzip abermals zu einem Aufwand von einigen Hunderten von Relais.

7. Rechner und Rechnerperipherie

Der Rechner mit der zugehörigen Peripherie ist auf einen komfortablen Betrieb mit vertretbarem Aufwand ausgelegt. Im Hinblick auf mögliche Erweiterungen wurde eine als 16-Ebenen-Rechner arbeitende Zentraleinheit mit einer Speicherkapazität von 48 kbyte gewählt und durch einen Wechselplattenspeicher ergänzt. Damit wird ein rascher Zugriff zu verschiedenen Prüfprogrammen sichergestellt. Zudem können alle Vorteile eines plattenorientierten Betriebssystems genutzt werden. Die Rechnerperipherie wird ergänzt durch eine Bildschirmkonsole, eine Lochstreifenausrüstung und einen Zeilendrucker. Die hohe Schreibgeschwindigkeit des letzteren lässt auch einfache graphische Darstellungen mittels passenden Print-Plot-Programmen zu.

Ein weiteres Peripheriegerät wird in der Regel off-line betrieben und dient zur Programmerstellung auf Magnetbandkassetten. In kurzen Betriebspausen können diese jeweils rasch in den Rechner eingelesen und auf der Wechselplatte abgelegt werden. Bei Defekten kann das genannte Kassettengerät on-line sowohl das Bildschirmgerät wie auch den Schnelldrucker behelfsweise ersetzen. Nach der vorgesehenen Implementierung des Time-sharing-Betriebes wird es als zusätzliches on-line-Terminal einbezogen. Zur allgemeinen Sicherung der Daten und Programme werden Lochstreifen archiviert.

8. Software

Für den Prüfer steht der Wunsch nach einer benutzerfreundlichen Sprache zur effizienten Formulierung der Prüfprogramme im Vordergrund. Zur geräteorientierten Programmierung (Anwendersoftware) haben sich um Echtzeitbefehle erweiterte Formen von *Basic* sehr gut bewährt. Ein besonders komfortabler Vertreter dieser leider nicht standar-

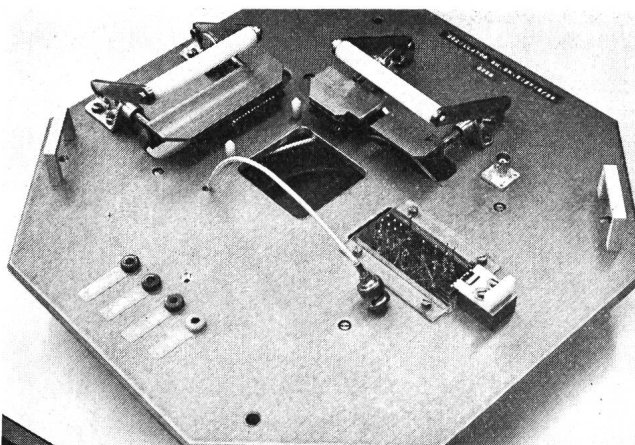


Fig. 4 Typischer Adapter für einen spezifischen Prüfling

Die Kontaktierung erfolgt über zwei normale Kontaktleisten und über ein zusätzliches Federkontaktkissen

```

1890 REM COM$ FM-VERSTAERKER. VERSTAERKUNG
1895 LET FREQ(0)=800, FREQ(1)=11600, FREQ(2)=20
1900 LET HL(0)=29.2, HL(1)=-2.5, HL(2)=-.25
1905 LET LL(0)=28.7, LL(1)=-3.5, LL(2)=-.55
1910 LET I=0
1915 CALL WFGM(SINW, NORM)
1925 CALL WFGP(800, .05, 0)
1928 CALL DVM(ACV, 1, TRIG)
1930 LET PIN(T44)=WFG(1), DVM(2)=J11, DVM(1)=J23
1945 CALL WFGP(FREQ(I), .05, 0)
1950 LET MES=20*.434*LOG(DVM/.05*2.83)
1955 LET HL=HL(I), LL=LL(I), MES(I)=MES, UNIS=10
1957 IF I=0 THEN 1960
1958 LET MES=MES-MES(0)
1960 GOSUB 210

```

Fig. 5 Programmausschnitt in Basex

disierten Sprachgruppe ist das *Basex* (*Basic extended*). Es weist die folgenden, stichwortartig festgehaltenen Merkmale auf:

- Vollständige Zeitverwaltung durch Programmierung von Zeitaufträgen, Wartezeiten und Interrupts mit gestaffelter Priorität und bedingter Zulassung
- Erhöhte Rechenauslastung durch Mehrebenenprogrammierung und wahlweisen Betrieb von Basex als Interpreter oder Compiler
- Optimale Speicherausnutzung durch die Möglichkeit zur Definition einer beliebigen Untermenge des Sprachumfanges mittels eines einfachen Initialisierungsdialoges und durch wahlweise Segmentierung langer Programme
- Direkte Ansprechmöglichkeit der Interface für Rechner und Elektronik durch einfache Sprachelemente
- Mnemotechnische Verbesserung des Sprachbildes durch erlaubte Wortlänge von 4 Zeichen und grosszügige Manipulationsmöglichkeiten von Zeichenketten über logische Verknüpfung, Maskierung und Konversion
- Möglichkeit zum Einbinden von vom Benutzer geschriebenen Systemroutinen in den Sprachumfang zum Aufruf über Call-Statements oder als Systemvariable

Gerade in der Systemaufbauphase ist die letztgenannte Möglichkeit von grossem Nutzen. Sie erlaubt, eine anlage-spezifische Programmiersprache zu schaffen, in welcher sämtliche vorkommenden Quellen, Messgeräte, Matrizen und Prüflingsanschlüsse mit leichtverständlicher Mnemonik angesprochen werden. In der Regel werden dabei die zu jedem Gerät gehörenden Programmpakete (Treiber-routinen) in Assembler geschrieben und aus Platz- und Geschwindigkeitsgründen als Maschinencode in den Interpreter/Compiler eingezogen. Die daraus resultierende Prüfprogrammiersprache ist zwar anlagegebunden, zeichnet sich aber durch einfache Erlernbarkeit, guten Dokumentationswert und eine leistungsfähige interpretative Programmierfehlerdiagnose aus. In die letztere werden auch Fehlerüberwachungen in der Programmausführung eingebaut wie etwa: «Gerät nicht auf Programmbetrieb (remote)», «Messbereich überschritten» usw.

Wie aus dem kurzen Programmausschnitt in Fig. 5 für einen mit Basic vertrauten Leser offensichtlich ist, erscheinen alle Geräteeinstellungen in den Parameterlisten der an-lagespezifischen Instrumentenaufrufe. Ebenso sind Prüflingsanschlüsse und geeignete Messwerte als Systemvariable behandelt. Abgesehen von der rascheren Reihenfolge zeigt ein solches Programm alle Einstellungen und Verbindungen ebenso, wie sie für eine manuelle Messung benützt würden. Damit wird das Ausprüfen eines neu geschriebenen Programmes einfach und überblickbar. Durch einen modularen Programmaufbau mit strukturierten Subroutinen lässt sich dennoch eine befriedigende Kompaktheit erzielen.

9. Prüfablauf

Die hohe Arbeitsgeschwindigkeit des Automaten erlaubt es, die Anzahl der Prüfschritte wesentlich zu erhöhen und damit eine Grundforderung der Qualitätssicherung zu erfüllen. Durch die Möglichkeit, Verbindungen zum Prüfling rasch zu ändern und einfache Spannungs- und Widerstandsmessungen innerhalb weniger Millisekunden auszuführen, liegt es nahe, so weit wie möglich mit einem Kontaktkissen (z. B. durch einen Adapter) auf einzelne Bauelemente zuzugreifen und diese zu messen. Die anschliessenden Prüfungen von Teil- und Gesamtfunktionen erfassen den restlichen, meist kleineren Anteil von Fehlern.

Für die Prüfung mit dem Automaten hat sich die folgende Philosophie der Gliederung der Prüfung in drei Ebenen als sinnvoll erwiesen:

- Elementeprüfung: Zugriff auf Einzelbauteile oder kleine Gruppen mit vielen Anschlüssen und einfachen Messungen. Die Fehlerlokalisierung ist einfach und verlangt keine besonderen Fehlersuchroutinen.
- Statische Prüfung von Teil- und Gesamtfunktion: Messung von typischen Arbeitspunkten mit Zugriff auf eine kleinere Zahl von Messpunkten.
- Dynamische Prüfung von Teil- und Gesamtfunktion: Messung von typischen Signalverläufen an geeigneten Messpunkten bei Speisung mit dynamischen Prüfsignalen.

Bei der Redaktion der Prüfprogramme muss der Programmierer darauf achten, die drei Prüfstufen in sinnvoller Reihenfolge aneinanderzuknüpfen. Da die Fehler von Bauelementen meist unabhängig voneinander sind, wird es wenig sinnvoll sein, die Elementeprüfung nach der Entdeckung eines Fehlers abubrechen. Andererseits sind bei der Teilprüfung Folgefehler häufig, so dass es fraglich ist, den anschliessenden Gesamttest trotzdem durchzuführen. Durch einen gut angepassten Programmaufbau lässt sich gegenüber der Handprüfung für einen typischen Fall eine Reduktion der Prüfzeit um etwa zwei Zehnerpotenzen erreichen. Dies ist jedoch nur sinnvoll, wenn dafür gesorgt wird, dass auch die Reparaturzeit reduziert wird. Der Fehler wird deshalb in jedem Fall protokolliert und auf einem Begleitzettel dem Prüfling beigegeben. Für den Reparateur sind die nötigen Angaben enthalten wie: Bezeichnung des Elementes oder Messpunktes nach Schema, gemessener Wert und richtiger Wert oder Toleranzangabe.

Für gewisse Justierungen von einstellbaren Elementen ist auf dem Prüfpult ein motorisch angetriebener Feinschraubenzieher angebracht, welcher direkt in Funktion des gemessenen Wertes die nötige Einstellung vornimmt. Der Prüfer wird durch eine Meldung auf dem Bildschirm angewiesen, den Schraubenzieher auf das vorgesehene Bauteil aufzusetzen und die Bereitschaft zu quittieren, der Abgleich wird dann in kurzer Zeit ohne weiteres Zutun vollzogen.

10. Ausblick

Die vorausgehenden Betrachtungen haben exemplarisch eine Lösung zum Prüfproblem elektronischer Schaltungsplatten gezeigt. Automaten mit dieser oder ähnlicher Zielsetzung sind seit 1970 an vielen Orten in Betrieb oder im Aufbau. Wie erwähnt, haben sich für rein digitale Prüflinge konfektionierte Lösungen durchgesetzt, für analoge ist dies auch in Zukunft nicht zu erwarten.

Die modulare Konzeption spezifischer Anlagen wird jedoch zunehmend erleichtert durch die sich rasch erweiternde Auswahl von programmierbaren Instrumenten. Es ist zudem vorauszusehen, dass sich die einsetzende Standardisierung der Interfaces durchsetzt und damit der Aufbau von Hardware und Software spürbar vereinfacht wird.

Für die zentralen Anlageteile, nämlich Prüfkopf und Adapteraufnahme, sind gegenwärtig nur Einheiten auf dem Markt, die stark an Einzelfabrikate von Instrumenten gebunden sind. Ausgereifte und vielseitig anwendbare Lösungen verlangen durchwegs wesentliche Eigenleistungen des Anwenders, um mechanisch und elektrisch eine einwandfreie Funktion zu erreichen; die Kosten dafür sind bedeutend. Ein prüfgerechter Schaltungsaufbau als Beitrag des Entwicklers zum Prüfproblem kann hier spürbare Einsparungen ergeben.

An der Rechnerseite ist der heutige Stand der Minicomputer für den nötigen Aufwand in der Steuerung und Verwaltung genügend. Häufig erlauben sogar nicht zeitkritische Anwendungen die Rechnerbenützung im Multi-User-Betrieb. Andererseits lässt sich in Mehrrechneranlagen der Verwaltungsaufwand zentralisieren und die Effizienz des Einzelrechners steigern. Der derzeitige Preiszerfall für Halbleiterspeicher und der rasche Vormarsch von Floppy-Discs und ähnlichen Massenspeichern wird dem Benutzer zusätzlichen Komfort beschern, ohne jedoch an Grundsätzliches zu rühren.

Auf dem Softwaresektor ist die Programmiersprache ATLAS (Abbreviated Test Language for Avionic Systems) zu erwähnen, welche Prüfvorschriften anlageunabhängig formuliert und damit einen weitreichenden Programmaustausch ermöglicht. Ein solcher erlangt vor allem Gewicht im Zusammenhang mit grossen Projekten, an denen mehrere Partner oder Auftragnehmer mit unterschiedlichen Prüfmitteln beteiligt sind. Deshalb wird zurzeit vielerorts ein erheblicher Aufwand betrieben, um ATLAS-Compiler auf unterschiedlichen Anlagen zu implementieren. Da sich ATLAS kompakt und gut dokumentierend präsentiert, scheint seine Anwendung für Kunden mit grossem Gerätepark wie Aviatik, Fernmeldebetriebe und Armeematerialdienste vielversprechend. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Transparenz zwischen Programmanweisung und Gerätewahl und -einstellung mit ATLAS weitgehend verlorengeht und die nötigen Compilerläufe gegenüber einer geräteorientierten Sprache wesentlich zeitraubender und fehlerträchtiger sind. Es wird somit fallweise abzuklären sein, wie weit die Redaktion von Prüfprogrammen, welche das Haus des Geräteherstellers nicht verlassen müssen, in ATLAS sinnvoll ist.

Adresse der Autoren

Dr. sc. techn. *Albert Schenkel* und Ing.-Techn. *HTL Jürgen Rurack*,
Siemens-Albis AG, 8047 Zürich.