

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: 72 (1981)

Heft: 7

Artikel: Kleinseriefertigung von Hybridschaltungen für hohe Anforderungen

Autor: Stein, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905093>

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: 30.01.2025

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

Kleinseriefertigung von Hybridschaltungen für hohe Anforderungen

Von E. Stein

621.3.049.776;

Die Problematik kundenspezifischer Schaltungen, die nur in kleinen Stückzahlen benötigt werden, wird aus der Sicht des Anwenders und des Herstellers diskutiert. Anwendungsbereiche, in denen kundenspezifische Hybridschaltungen sinnvoll sind, werden herausgearbeitet und durch Beispiele illustriert. Möglichkeiten zur Kostenverringerung werden dargestellt, ebenso Massnahmen zur Erreichung hoher Zuverlässigkeit. Abschliessend wird gezeigt, dass die Bedeutung der hybriden Mikroelektronik in Zukunft noch zunehmen wird.

La problématique des circuits particuliers, fabriqués en petit nombre seulement, est examinée des points de vue de l'utilisateur et du fabricant. Des domaines d'emplois de circuits hybrides à la mesure du client sont discutés et illustrés par des exemples. On indique des possibilités de réduire les coûts, ainsi que des dispositions pour obtenir une grande fiabilité, et on montre que la micro-électronique hybride prend de plus en plus d'importance.

1. Probleme der Kleinseriefertigung

In fast allen elektronischen Systemen wird heute Mikroelektronik in Form von Standard-IC verwendet. Häufig tritt zusätzlich die Forderung nach kundenspezifischen integrierten Schaltungen auf, insbesondere wenn

- das zur Verfügung stehende Volumen nicht zur Unterbringung der Elektronik genügt,
- technische Gründe einen miniaturisierten Aufbau erfordern, z.B. bei Hochfrequenzschaltungen, oder wenn ein guter thermischer Gleichlauf zwischen Bauelementen notwendig ist,
- schwierige Umgebungsbedingungen vorhanden sind, z.B. Vibration und mechanischer Schock.

Bei kleinen Stückzahlen lassen sich kundenspezifische integrierte Schaltungen wirtschaftlich nur in Hybridtechnik herstellen. Da die meisten Hersteller elektronischer Geräte keine eigene Hybridfertigung haben, muss ein externer Hybridhersteller gefunden werden. Obwohl der Wert der kundenspezifischen Schaltungen gemessen am Gesamtwert des Systems gering ist, ist das System in hohem Mass von diesen abhängig. Der Gerätehersteller muss deshalb eine sehr zuverlässige Beschaffung der kundenspezifischen Schaltungen fordern. Dies führt zu folgenden zwei Anforderungen an den Hybridhersteller: Er muss eine etablierte Technologie und Produktionserfahrung haben. Ferner muss er zu einer engen Zusammenarbeit mit dem Gerätehersteller bereit sein. Dies ist um so schwieriger, je grösser die geografische Entfernung ist.

Auch der Hybridhersteller hat bei Kleinserien spezifische Probleme zu bewältigen. Ein hoher Entwicklungsaufwand pro hergestelltem Exemplar lässt wenig Spielraum zur Minimierung der Stückkosten. Damit insgesamt eine vernünftige Produktionsmenge anfällt, müssen viele verschiedene Hybridschaltungen produziert werden. Dies wiederum erfordert eine umfangreiche Entwicklungsmannschaft, die zudem sehr flexibel sein muss. Um Beschaffungsprobleme zu umgehen, muss die Anzahl der verwendeten Bauelementetypen auf eine vernünftige Anzahl beschränkt werden. Für diese ist eine ausreichende Lagerhaltung notwendig.

Auch für die Logistik ergeben sich besondere Aspekte, insbesondere bei langlebigen Systemen. Durch Verwendung von kundenspezifischen Hybridschaltungen wird die Zahl der Ersatzteile kleiner. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Materialbewirtschaftung. Andererseits wird der Wert pro Teil grösser, wodurch die Kosten pro Ersatzteil steigen. Dieser Effekt wird jedoch aufgewogen durch den geringeren Aufwand bei der Fehlerlokalisierung. Insbesondere bei der Verpflichtung zu langfristiger Ersatzteillieferung bieten Hybridschaltungen im hermetisch dichten Gehäuse Vorteile.

2. Anwendungsgebiete für Dünnschicht-Hybridschaltungen

Die folgenden Aussagen beziehen sich hauptsächlich auf Dünnschicht-Hybridschaltungen [1], die in zwei wesentlichen Varianten hergestellt werden. Für industrielle, messtechnische und medizintechnische Anwendungen werden vorwiegend Keramikgehäuse verwendet. Für Anwendungen mit schwierigen Umgebungsbedingungen (z.B. Militärelektronik) sind hermetisch dichte Metallgehäuse notwendig, ferner ein grösserer Aufwand bei der Vorbehandlung (Screening) der Schaltungen.

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die Entwicklungskosten für ein Gerät durch die Verwendung von kundenspezifischen Schaltungen etwas erhöht werden. Zur Kompensation muss man für die Herstellung und Anwendung der damit bestückten Geräte Vorteile fordern. Diese können z.B. entstehen durch [1]

- geringeren Mechanikaufwand (Gehäuse, Stecker) infolge höherer Packungsdichte,
- geringeren Herstellungs-, Bestückungs- und Prüfaufwand bei der Leiterplattenherstellung und -bestückung,
- technische Vorteile, z.B. bessere Beherrschung parasitärer Elemente, besserer thermischer Gleichlauf. Insbesondere wenn geringe Widerstandstoleranzen notwendig sind, bietet die Dünnschichttechnik Vorteile [2].

Figur 1 zeigt den Prototyp einer Leiterplatte, die weitgehend mit analogen Hybridschaltungen bestückt ist und ungefähr drei gleichgrosse Leiterplatten mit diskreter Bestückung ersetzt. Drei verschiedene Typen Hybridschaltungen werden jeweils mehrfach verwendet. Insgesamt sind in den abgebildeten Hybridschaltungen (eine davon ist durch einen Kühlkörper verdeckt) 548 Bauelemente enthalten. Davon sind 320 Dünnschichtwiderstände, 30 Chipkondensatoren und 198 Halbleiterbauelemente. Selbstverständlich sind neuere, komplexe Halbleiter-

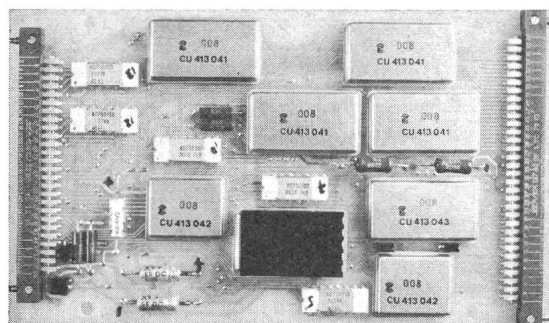


Fig. 1 Leiterplatte mit konsequenter Anwendung der Hybridtechnik

Pins	IC-Chips	Technologie	Verlustleistung	Bonds (Drähte)
20	4	LSTTL	0,25 W	84
20	5	LSTTL	0,28 W	90
34	8	LSTTL, STTL, PROM	1,9 W	162
34	8	CMOS, CMOS-RAM	1 mW	166
26	7	LSTTL	0,9 W	119
34	9	LSTTL	0,9 W	168
44	6	STTL	3,0 W	155
60	16	LSTTL	1,2 W	292

CMOS = Complementary metal oxide semiconductor
 LSTTL = Low power Schottky transistor-transistor logic
 PROM = Programable read-only memory
 RAM = Random access memory
 STTL = Schottky transistor-transistor logic

chips (z.B. Vierfach-Operationsverstärker) verwendet worden. Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, die man trotz der kleinen Seriengrößen erhält, haben dazu geführt, dass heute bei gewissen Geräten bis zu 50% der Elektronik in Hybridtechnik ausgeführt sind.

Auch bei digitalen Schaltungen lässt sich die Hybridtechnik problemlos anwenden. Tabelle I zeigt einige Beispiele, wie sie im Verlauf weniger Jahre realisiert worden sind. Man sieht, dass die Komplexität bezüglich der Anzahl der Chips, der Bondverbindungen und der Pins stark zugenommen hat. Ausserdem können Halbleiterchips aller gängigen Technologien verwendet werden.

Grundsätzlich ist es vorteilhaft, die Stärken einer Technologie besonders auszunützen. Bei Hybridschaltungen ist die Möglichkeit des Funktionsabgleichs ein wichtiger Vorteil. Figur 2 zeigt anhand der Prinzipschaltung eines breitbandigen Pufferverstärkers noch einen weiteren Vorteil: Halbleiterchips verschiedener Technologien können zur Erzielung optimaler technischer Daten problemlos miteinander kombiniert werden. Im Beispiel wird der Ruhestrom des Pufferverstärkers durch R_2 eingestellt, die Offsetspannung wird mit R_1 auf 0 V abgeglichen. Zudem kann durch Trimmen des Spannungsteilers R_3, R_4 die von 1 abweichende Verstärkung ausgeglichen werden.

Die Spannweite der in Dünnschicht-Hybridtechnik realisierbaren Schaltungen lässt sich am besten anhand von Beispielen zeigen.

Figur 3 zeigt eine extrem dicht gepackte Analogschaltung. Auf 426 mm² befinden sich 90 Dünnschichtwiderstände, 15 Chipkondensatoren und 65 Halbleiterbauelemente. Die Summe der Widerstandswerte beträgt 2,3 M Ω , die Anzahl der Bonddrähte ist 176. Die Verbindungskomplexität (definiert als Summe der Leiterbahnlängen dividiert durch die Substratfläche) beträgt 0,8 mm/mm². Die Schaltung hat die Funktion eines fünfkana- ligen bidirektionalen Verstärkers. Die einzelnen Verstärker

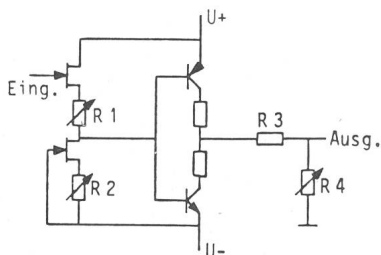


Fig. 2 Pufferverstärker mit Funktionsabgleich

sind zudem präzise (Verstärkungsfehler 0,1% maximal) und können relativ hohe Ausgangsspannungen abgeben (± 30 V).

Figur 4 zeigt eine Interfaceschaltung zwischen einem digitalen Datenbus und elektromechanischen Relais. Es sind 8 Kanäle mit TTL-Eingängen, je einem Latch und Ausgängen für 60 mA Nominalstrom und Sperrspannung grösser als 80 V vorhanden. Eine Strombegrenzung, die bei 200 mA einsetzt, macht die Ausgänge kurzschlussfest.

Die Hybridtechnik bietet eine dielektrische Isolation zwischen Halbleiterchips, die auf demselben Keramiksubstrat aufgebracht sind. Damit ist eine problemlose Kombination verschiedener monolithischer Technologien möglich. Figur 5 zeigt als Beispiel einen 4kanaligen optischen Empfänger. Die 4 linear angeordneten Fotodioden in der Mitte der Hybridschaltung werden je von einem rauscharmen, zweistufigen Verstärker gefolgt. Die Hybridschaltung wird von einem (nicht gezeigten) Metalldeckel mit Glasfenster geschützt.

3. Möglichkeiten zur Kostenverringering bei Kleinserien

Eine Voraussetzung dafür, dass eine Technologie konkurrenzfähig bleibt, ist die Möglichkeit verringerter Kosten bei zunehmender Anwendung. Bei Großserien hat sich diese Möglichkeit beispielsweise durch Anwendung der Dickfilm-Hybridtechnik in der Konsumelektronik gezeigt. Aber auch bei Klein-

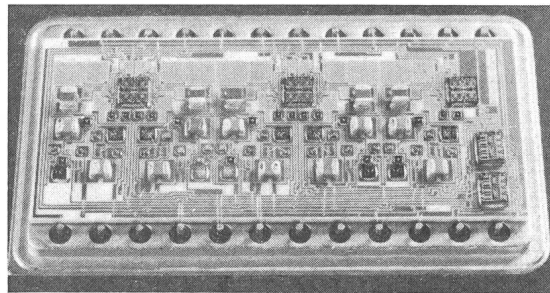


Fig. 3 Dicht gepackte Analogschaltung

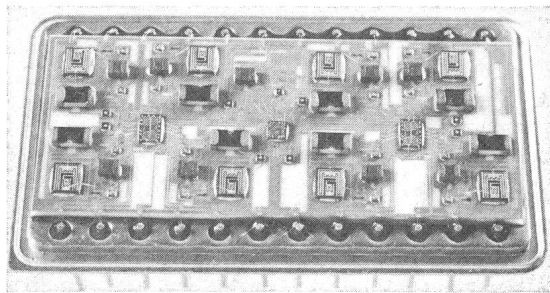


Fig. 4 Interfaceschaltung in Dünnschichttechnologie

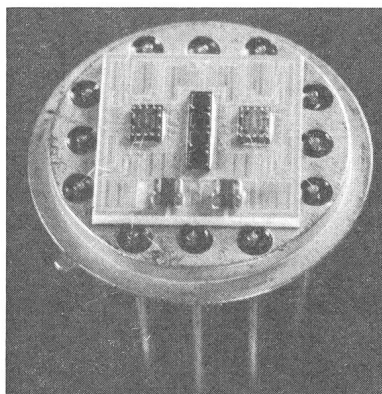


Fig. 5 Optoelektronischer Empfänger

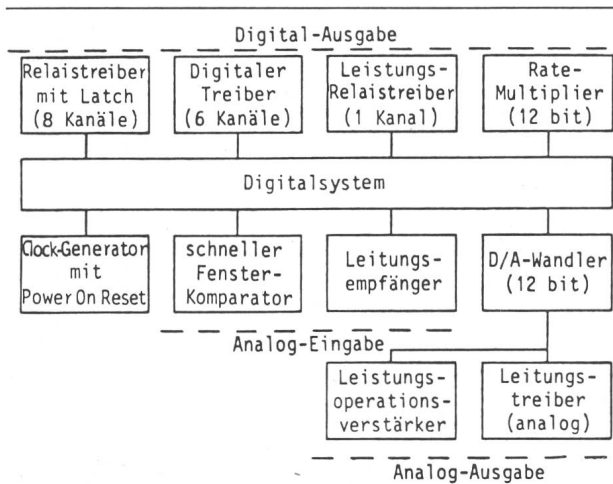


Fig. 6 Funktionsblöcke in Hybridtechnik

serien sind Verbesserungen möglich, insbesondere in der Produktionstechnik und in der Messtechnik.

Ein wesentlicher Teil der *Produktion* ist die Montage und das Bonden der Chips. Hier hofft man durch automatische Die-Bonder [3] und Wire-Bonder [4] die Herstellungskosten erheblich zu senken. Ausserdem kann man eine bessere Zuverlässigkeit der automatisch hergestellten Bonds erwarten [5]. Die Entwicklung beim automatischen Bonden von Hybridschaltungen ist aber noch im Fluss.

Wenn man die Vielfalt der verwendeten Halbleiterchips beschränkt, kann man ganze Wafer anstelle einzelner Chips kaufen. Damit lässt sich der Aufwand für Beschaffung, Qualifikation und Lagerhaltung auf viele Schaltungen verteilen.

Eine grosse akkumulierte *Entwicklungserfahrung* ist eine notwendige Voraussetzung für die kosteneffektive Entwicklung von kundenspezifischen Hybridschaltungen. Eine schnelle Offertstellung ist für den Kunden meistens sehr wichtig. Dies wird ermöglicht durch geeignete Hilfsmittel, wie z.B. durch CAD-Unterstützung zur Abklärung der Realisierbarkeit (Substratfläche, Verlustleistung) und durch kurzfristige Verfügbarkeit (häufig ab Lager) der benötigten Chipbauelemente.

Durch die Entwicklung von Funktionsblöcken, die eine bestimmte Klasse von Funktionen möglichst universell erfüllen können, ist eine wesentliche Kostenverringerung in der Entwicklung von kundenspezifischen Schaltungen möglich. In manchen Fällen wird eine bereits bestehende Schaltung auch für neu hinzukommende Anwendungen geeignet sein. Häufiger ist der Fall, dass eine bestehende Schaltung modifiziert werden kann, so dass die Entwicklung eines vollständig neuen Layouts vermieden werden kann. Ein solches System von Funktionsblöcken hat sich in den letzten Jahren herauskristallisiert. Die wichtigsten der darin vorhandenen Hybridschaltungen sind in Figur 6 zusammengestellt.

Ein wesentlicher Punkt ist die Rationalisierung der *Messtechnik* auch für Kleinserien. Dies ist besonders wichtig bei hochzuverlässigen Schaltungen, die mehrfach gemessen werden müssen. Z.B. müssen Parameter vor und nach dem Burn-in gemessen, die Drift berechnet und die Ergebnisse protokolliert werden. Mit marktüblichen Systemen, die auf dem General Purpose Interface Bus (GPIB, auch IEC-Bus genannt) basieren, ist eine automatische Messung ohne grosse Initialkosten möglich. Figur 7 zeigt ein System, mit dem praktisch alle bisher bei uns realisierten Schaltungen gemessen werden können.

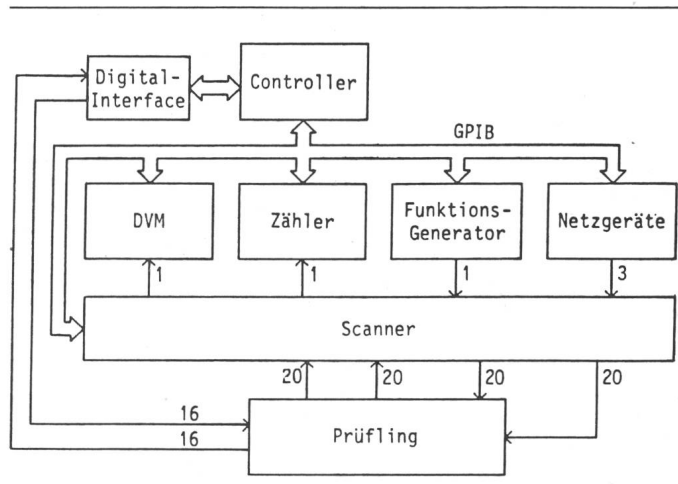


Fig. 7 Automatisches Meßsystem für Kleinserien

Figur 8 zeigt das Ergebnis der automatischen Messung eines aktiven RC-Filters, wobei auf dem Drucker zusätzliche Hinweise auf ausserhalb der Toleranz liegende Messwerte und mögliche Fehlerursachen gegeben werden.

4. Zuverlässigkeit

Ein wesentliches Argument für die Anwendung von kundenspezifischen integrierten Schaltungen gerade auch in Kleinserien ist die höhere Zuverlässigkeit, die man gegenüber Leiterplatten mit diskreter Bestückung erreichen kann. Gründe dafür sind

- die kleinere Anzahl unzuverlässiger Verbindungen (Lötstellen und Steckverbindungen),
- die stabilere mechanische Struktur (Keramiksubstrate, kleinere Leiterplatten),
- dass eine visuelle Kontrolle der Chipbauelemente möglich ist, im Gegensatz zu umhüllten Bauelementen. Aufgrund der Erfahrungen ist eine gründliche visuelle Kontrolle äusserst wichtig für gute Zuverlässigkeit und Ausbeute,
- dass der Schutz der Hybridbauelemente gegen eine aggressive Atmosphäre in der Regel besser ist als bei diskreten Bauelementen.

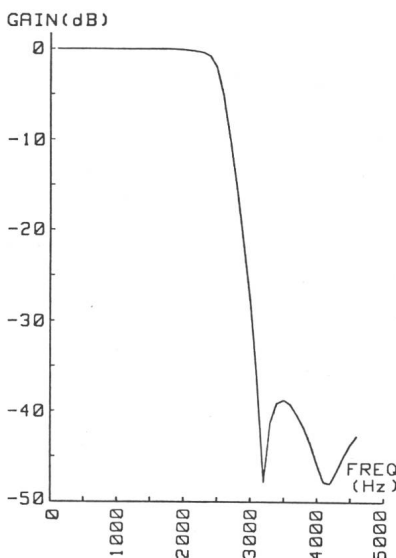


Fig. 8 Automatisch aufgenommener Frequenzgang eines aktiven Filters

Bei gehäuteten IC wird heute zunehmend Wert auf eine Vorbehandlung gelegt [6]. Bei Hybridschaltungen für professionelle Anwendungen ist diese seit langem üblich, wobei häufig ein dynamischer statt eines statischen Burn-in angewandt wird.

Mit Schaltungen, die gemäss [1] vorbehandelt wurden, wurden Lebensdauertests durchgeführt. Die Komplexität der getesteten Schaltungen geht aus Tabelle II hervor. Die Ergebnisse in Tabelle III zeigen, dass eine sehr geringe Ausfallrate erreicht wird.

Komplexität der getesteten Schaltungen

Tabelle II

Typ	Komplexität
1) Integrator	4 Widerstände 0,05 %, 3 Kondensatoren, 1 IC
2) Rauschgenerator	11 Widerstände, 10 Kondensatoren, 4 IC
3) Relaisstreiber	24 Widerstände, 6 Kondensatoren, 1 IC 18 Transistoren

Ergebnisse des Lebensdauertests bei

110 °C Umgebungstemperatur und normalem Betrieb

Tabelle III

Typ	Bauelementestunden	Bauelementestunden bezogen auf Einzelbauelement	Ausfälle
1)	82 422	659 376	0
2)	21 880	547 000	0
3)	5 700	279 300	0
Summe	110 002	1 486 106	0

5. Ausblick

Die Technologie der Hybridschaltungen ist eine ausgereifte Technologie, bei der aber durch stetige Weiterentwicklung höhere Packungsdichte, bessere technische Daten und bessere Konkurrenzfähigkeit erreicht werden. Heute schon beginnt die Dickfilmtechnik – zumindest bei grösseren Serien – die Leiterplattentechnik zu konkurrenzieren. Dadurch wurden Entwicklungen ausgelöst, die allgemein die Attraktivität der Hybridtechnik vergrösserten. Die Hybridtechnik stellt, was Packungsdichte und Entwicklungskosten betrifft, einen Mittelweg zwischen Leiterplattentechnik und monolithischer Technik dar [7]. Damit kann sie die Vorteile beider Technologien in einem gewissen Mass miteinander verbinden. Als Konsequenz wird die Bedeutung der Hybridtechnik in Zukunft noch zunehmen.

Literatur

- [1] K. Osswald und E. Stein: Kundenspezifische Schaltungen in Hybridtechnik. Technische Möglichkeiten, wirtschaftliche Überlegungen und Anwendungen. *Elektroniker* 18(1979)10, S. EL 1...EL 8 + Nr. 11, S. EL 7...EL 11.
- [2] G. Zinsmeister: Materials and applications for thin films in hybrid microelectronics. *Electrocomponent Science and Technology* 6(1980)3/4, p. 209...214.
- [3] D. Erickson: Chip placement systems for hybrids. *Electronic Packaging and Production* 20(1980)2, p. 50...54 + 58...60.
- [4] A. Soffa: Remarks on wire and die bonding for hybrid circuits. *Electrocomponent Science and Technology* 4(1977)3/4, p. 157...161.
- [5] W. D. McKee and R. F. Unger: Hybrid circuit reliability improvement via automation. *International Microelectronic Conference, Anaheim 1977*; p. 190...192.
- [6] A. Birolini: Das Zentrum des SEV für die Evaluation und Kontrolle elektronischer Komponenten – Aufgaben und Aufbau. *Bull. SEV* 70(1979)21, S. 1173 bis 1177.
- [7] E. Stein: Chances for hybrid microelectronics in a VLSI world. *Fourth European Conference on Electronics, Stuttgart, 24...28 march 1980. Eurocon '80, Preprints* 4(1980), p. 98...102.

Adresse des Autors

Erich Stein, Contraves AG, Schaffhauserstrasse 580, 8052 Zürich.

Erfahrungen mit semicustom-integrierten Schaltungen

Von W. Vollenweider

621.3.049.77;

Semicustom-integrierte Schaltungen (sS) haben sich in einigen Fällen als sehr nützliche Bauteile erwiesen, die es ermöglichen, gleichzeitig preisgünstige, kleine und technisch hochstehende Geräte in mittleren Serien herzustellen. Sie würden sich eigentlich für einen wesentlich häufigeren Einsatz eignen, als dies heute geschieht. Der nachfolgende Beitrag soll mithelfen, dem Entwicklungsingenieur einige Besonderheiten der sS näherzubringen.

Dans quelques cas, les circuits intégrés en version semi-custom se sont avérés être des composants très utiles, qui permettent de fabriquer, en moyennes séries, des appareils à la fois petits, de haut niveau d'intégration, à un coût avantageux. Ils pourraient être utilisés plus souvent qu'actuellement. Le présent exposé donne aux ingénieurs des bureaux d'études des indications sur quelques précieuses particularités de ces circuits.

1. Massgebende Punkte bei der Anwendung von semicustom-integrierten Schaltungen

Von den Herstellern von semicustom-integrierten Schaltungen (sS) werden vor allem die preislichen Vorteile, aber auch die Sicherheit vor unerlaubtem Nachbau ins Feld geführt. Daneben sind eine Reihe anderer Faktoren von Bedeutung; auch Nachteile sind zu erwähnen. In Tabelle I sind einige Punkte aufgeführt, die einen Einfluss auf das Gelingen oder Misslingen eines Projektes haben können. Ein praktisches Beispiel soll einige dieser Punkte erläutern:

Der Verteiler-IC im Handsprechfunkgerät SE 20 muss ein Signal zwischen 0,1 und 18 MHz durch 4 teilen und ein TTL-kompatibles Signal für den einstellbaren Teiler liefern. Die

Grenzfrequenz muss also minimal 18 MHz betragen; zudem sollte die Stromaufnahme möglichst klein sein. Aus Figur 1, in der die Grenzfrequenz und die Stromaufnahme einiger handelsüblicher Teilerschaltungen aufgetragen ist, ersieht man, dass kein IC die optimalen Eigenschaften für die vorgesehene Anwendung aufweist. Entweder ist, wie bei CMOS, die garantierte Grenzfrequenz zu tief oder die Stromaufnahme ist, wie bei LS-TTL, zu gross.

Angeichts dieser Sachlage wurde beschlossen, eine sS zu entwickeln, die eine optimale Kombination von Stromaufnahme und Grenzfrequenz aufweist. Es wäre naheliegend gewesen, die Schaltung auf einem bipolaren, für Digitalanwendungen vorgesehenen Chip aufzubauen. Allerdings hätte nur