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: 76 (1985)

Heft: 21

Artikel: Semicustom IC

Autor: Rüegg, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904702

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: 08.07.2025

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

Semicustom IC

H. Rüegg

Ausgehend von einer Stellungnahme zur ITG-Diskussionstagung über die Entwicklung von Semicustom-Schaltungen[1] sowie von einem kurzen Rückblick auf die IC-Geschichte beschreibt der Autor die drei Kunden-Hersteller-Relationen Full Custom, Semicustom und Silicon Foundry. Eingehend befasst er sich dabei auch mit der herrschenden Begriffsverwirrung, dem IC-Entstehungsprozess, der Rolle der Design-Firmen und dem Second Sourcing.

A la suite de la journée de discussion de l'ITG sur le développement de circuits integrés semicustom[1], l'auteur, après un bref historique de ces circuits, décrit les trois relations entre client et fabricant (full custom, semicustom et silicon foundry) et traite en détail des confusions de notions, du processus de production des circuits integrés, du rôle des entreprises conceptrices et de la seconde source.

Unter dem Titel «Entwicklung von Semicustom-Schaltungen» fand kürzlich eine Tagung, organisiert durch die Informationstechnische Gesellschaft des SEV (ITG), statt. Das Interesse am Thema war derart gross, dass die Organisatoren den Numerus Clausus einführen mussten, um ihre Vorstellung einer Begegnung mit Gedankenaustausch aufrechterhalten zu können. Der technischen Seite des Themas war im offiziellen Tagungsprogramm breiter Raum eingeräumt, die ökonomischen Aspekte wurden zumindest gestreift. Zu kurz kamen meiner Meinung nach dabei die logistischen Fragen, die Probleme der Zusammenarbeit zwischen Halbleiterhersteller und Anwender. Dabei konnte den Diskussionsbeiträgen entnommen werden, dass die Tagungsteilnehmer diesen Bereich gerne etwas mehr ausgeleuchtet gehabt hätten. Im folgenden Beitrag wird dies versucht, allerdings von der Seite des Herstellers aus, immerhin jedoch im Bemühen, auch die andere Seite zu sehen.

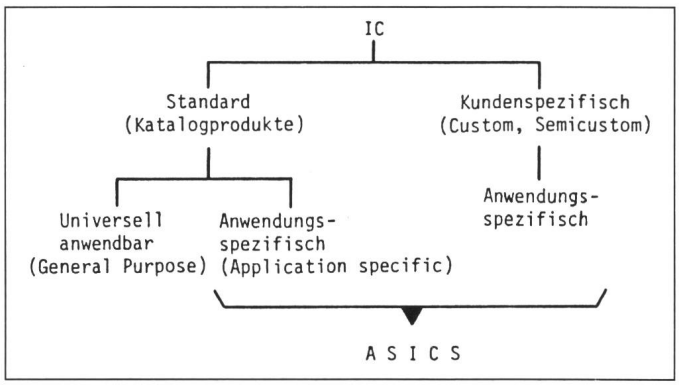
Begriffsverwirrung

Zwischen Bezeichnungen wie Custom IC, Semicustom, Gate Arrays, Standard Cells, Cell Arrays usw. hat sich ein ziemlicher Begriffssalat entwickelt, der dadurch nicht geniessbarer wird, dass nun plötzlich auch noch der Begriff der *anwendungsspezifischen IC* als vermeintlicher Oberbegriff verwendet wird. Dabei wird die englische Bezeichnung «Application Specific IC» mit dem offenbar eingehenden Kürzel ASIC in der deutschsprachigen Presse unbekümmert einmal als anwend*ungs*spezifisch und dann wieder, falsch, als anwend*er*spezifisch übersetzt.

Dabei hat die IC-Industrie schon von Anfang an zwischen Standard- bzw. Katalogprodukten einerseits und kundenspezifischen IC anderseits unterschieden (Fig. 1). Die Standard-IC werden nach längeren und möglichst gründlichen Marktuntersuchungen auf Kosten und Risiko des IC-Herstellers so definiert, dass sie einen möglichst grossen Kundenkreis ansprechen. Kundenspezifische IC anderseits werden massgeschneidert für einen bestimmten Kunden entwickelt und auf Bestellung hin für diesen Kunden allein hergestellt. Direkt oder indirekt trägt der Kunde sämtliche Kosten für die Entwicklung und Produktion. Im allgemeinen sind diese IC derart speziell, dass sie sowieso nur vom auftraggebenden Kunden angewendet werden können. Ferner ist es meistens dem IC-Hersteller auch nicht erlaubt, ein kundenspezifisches Produkt Dritten anzubieten.

Die Standard- oder Katalog-IC, die ein Hersteller anbietet, können in die

Fig. 1
Klassifizierung von IC



[1] Ein Bericht über die ITG-Diskussionstagung vom 21./22. März 1985 in Brunnen findet sich im Bull. SEV/VSE 76(1985)15, S. 935 u. 936.

Adresse des Autors
H. Rüegg, Dr. sc. techn., Faselec AG, Räffelstrasse 29, 8045 Zürich.

Kategorie der universell anwendbaren IC (general purpose) und in diejenige der anwendungsspezifischen IC (special purpose oder application specific) aufgeteilt werden. Obschon rigoros betrachtet jeder IC bereits einen teilweise beschränkten Anwendungsbereich hat, hat es sich eingebürgert, IC, die in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden können, als universell zu bezeichnen, diejenigen, die sich auf relativ eng umschriebene Funktionen beschränken, als applikationsspezifisch. So fallen in die Kategorie der universellen IC die aus SSI- und MSI-Produkten bestehenden logischen Familien, alle Kategorien von Speicher-IC, die Mikroprozessoren usw., während z. B. IC für die Ansteuerung von Flüssigkristallanzeigen, die Telefonie-Impulswahl, analoge Quarz-Armbanduhren usw. typisch anwendungsspezifisch sind. Heute fallen praktisch auch alle kundenspezifischen IC in die Kategorie der ASIC, während noch lange nicht alle ASIC kundenspezifische IC sind.

Der Trend von den universellen zu den anwendungsspezifischen IC

Die erste IC-Dekade (1960 bis 1970) wurde durch die universell einsetzbaren SSI- und MSI-IC dominiert. Den logischen Familien, wie TTL, DTL usw. im digitalen Sektor standen auf dem analogen Gebiet Operationsverstärker, Spannungsregulatoren usw. gegenüber. Die ersten 1-kbit-Speicher fügten sich in dieses Gesamtbild ein.

Es liegt auf der Hand, dass mit zunehmendem Integrationsgrad die Anwendungsuniversalität der IC abnahm. Die IC-Hersteller waren gezwungen, die neueren, höher integrierten Produkte als anwendungsspezifische IC zu definieren. Die zweite IC-Dekade (1970 bis 1980) sah eine Menge solcher anwendungsspezifischer Produkte, wie IC für Taschenrechner, Uhren, Fernsehen und Radio usw. Naturgemäss wandte sich hier die IC-Industrie vorerst denjenigen Gebieten zu, die die höchsten Stückzahlen versprachen. Entwickelte sich das entsprechende Anwendungsgebiet nach der Meinung der IC-Hersteller zu zögernd, so versuchten diese kurzerhand, sich des Endproduktes selbst zu bemächtigen. Dies geschah, mit unterschiedlichem Erfolg allerdings, in der Rechner- und Uhrenindustrie.

Ein Ausbruch aus dem Dilemma der abnehmenden Universalität mit steigender Komplexität gelang in dieser Dekade der Industrie durch Entwicklungen wie FPLA, PROM und vor allem den Mikroprozessor. Diese Produkte erlauben es, gewisse Kategorien von kundenspezifischen Anwendungen mit Standardprodukten zu realisieren. Auch weitere Bemühungen, den Wunsch der Anwender nach kundenspezifischen Lösungen und denjenigen der Hersteller nach Standardisierung und grossen Stückzahlen unter einen Hut zu bringen, führten zum Erfolg. Es entstanden die maskenprogrammierbaren ROM und die Mikrocomputer bzw. Mikrocontroller. In diesen Fällen definiert der Halbleiterhersteller einen Standardrahmen (Grösse der ROM, Typ des Mikrocomputers), leistet einen Grossteil des Entwicklungsaufwandes und stellt die entsprechenden Produkte zu einem möglichst grossen Prozentsatz bereits als Lagerware her. Der kleinere Teil der Entwicklung und der Fertigungsschritte wird dann kundenspezifisch, sozusagen als Masskonfektion vorgenommen. Der Erfolg dieser Kategorie von programmierbaren IC liegt in der eindeutigen Schnittstelle zwischen Herstellern und Anwendern. Der Kunde liefert in diesen Fällen nur seinen ROM-Code und erhält ein vom Hersteller voll garantiertes und spezifiziertes Endprodukt.

Obschon zur gleichen Zeit entwikkelt und herstellungsmässig ebenfalls auf dem Prinzip der Masskonfektion von praktisch vorfabrizierten Scheiben beruhend, konnten sich in dieser zweiten IC-Dekade die Semicustom-Varianten *Gate Arrays* und *Transistor Arrays* nicht in gleichem Masse durchsetzen. Ihrem Durchbruch stand das Schnittstellenproblem zwischen Hersteller und Anwender im Wege, ein Problem, das erst in der jetzigen, dritten IC-Dekade ernsthaft angegangen wird.

Die Dekade der Semicustom-IC

In der heutigen, dritten IC-Dekade spielen die Semicustom-IC neben den universell anwendbaren und anwendungsspezifischen Standard-IC sowie neben den oben erwähnten softwarevariablen Lösungen wie Mikrocomputer und ROM eine zunehmend grössere Rolle. Semicustom bedeutet dabei weniger die Umschreibung von bestimmten Ausführungsformen als vor allem eine neue Art der Arbeitsteilung in Entwicklung und Produktion zwischen IC-Herstellern und Anwendern. Generell gilt, dass die Komplexität von neuen IC laufend steigt, ihre universelle Anwendbarkeit abnimmt, die mittleren Produktionsstückzahlen sinken und die notwendigen Systemkenntnisse beim Design stark zunehmen. Die Notwendigkeit, die Entwicklung von der Produktion zu entkoppeln und sie zu einem möglichst grossen Grad in die Hände des Anwenders zu legen, ist heute unbestritten.

Glücklicherweise ist nicht nur die Notwendigkeit gegeben, sondern zunehmend auch die praktische Realisierbarkeit. Ausser für Speicher, die in sehr hohen Stückzahlen produziert werden, wird heute auch der IC-Hersteller nicht mehr wie früher Produkt und Technologie in einem iterativen Prozess für möglichst hohe Ausbeute und beste Spezifikation optimieren. Stattdessen wird ein Prozess gut charakterisiert und dokumentiert und an diesem dann während längerer Zeit festgehalten. Die detaillierte Charakterisierung des Prozesses erlaubt es, die Produktentwicklung von der Produktion weitgehend zu entkoppeln. Die IC-Hersteller haben ausserdem im eigenen Interesse gelernt, auch die von ihnen selbst definierten Standardprodukte mit einer gewissen Systematik zu entwickeln. Die Fortschritte bei den CAD-Werkzeugen ermöglichen und erzwingen teilweise eine solche Systematik. All diese Entwicklungen machen es nun möglich, einen Teil des Designaufwandes in die Hände des Kunden und zukünftigen Anwenders zu legen. Es ist dieser Trend, nämlich dass der IC-Anwender in einem klar umschriebenen und beschränkten Rahmen zum IC-Entwickler wird, den man am ehesten unter dem Schlagwort *Semicustom* als hervorstechendste Entwicklung unserer Dekade ansehen kann. Frei von Problemen ist die Entwicklung allerdings nicht.

Ein IC entsteht

Um die ganze Problematik von kundenspezifischen IC bzw. der Arbeitsteilung im Falle der Entwicklung durch den Kunden selbst zu sehen, ist es notwendig, kurz realistisch auf Entwicklung und Produktionsanlauf eines IC einzugehen. Der Entwicklungsvorgang wird oft idealistisch im Zusammenhang mit CAD so beschrieben, als

sei er ein linearer, vorwärts strebender Prozess; der Produktionsanlauf wird überhaupt nicht betrachtet.

Die Figur 2 zeigt die Entstehung eines neuen IC mit relativen Kostenangaben und Zeitbedarf der einzelnen Phasen. Vor der Studienphase besteht natürlich bereits eine klare Vorstellung über das Problem, das mit dem zu entwickelnden IC zu lösen ist. Diese stammt entweder aus dem Markt oder aus einem Applikationslabor. Während der Studienphase geht es darum, ein Pflichtenheft zu erstellen, ein Lösungskonzept zu erarbeiten und einen Marktplan aufzustellen sowie die Entwicklungskosten und die Entwicklungsdauer abzuschätzen. Die eigentliche Entwicklungsphase enthält die klassischen Aktivitäten wie Systementwicklung, Simulation, Floorplan, Layout, Testprogrammentwicklung usw. und endet vorläufig mit der Evaluation der ersten produzierten Scheiben. Mit einem sorgfältigen Design und dank guten CAD-Werkzeugen werden diese Muster meist in Prototypen der vorgesehenen Anwendung einsetzbar sein, jedoch, ausser bei rein digitalen Schaltungen, noch nicht sämtliche spezifizierten Werte erreichen. Ein Redesign, der sich auf einzelne Masken oder einzelne Partien der Schaltung beschränken kann, ist leider heute noch sehr wahrscheinlich und dürfte es auch in Zukunft bleiben; denn die Komplexität der neuen IC nimmt in gleichem Masse zu, wie sich die CAD-Werkzeuge vervollkommnen. Immerhin können in dieser Redesign-Phase die ersten Produktionsvorbereitungen anlaufen, so z. B. Debugging des Testprogramms, Erstellen der Produktionsdokumentation, Zuverlässigkeitstests usw.

Während der Pilot-Produktionsphase, die zwischen einem halben und einem Jahr dauert und in der typisch einige hunderttausend Produkte hergestellt werden, beginnen dann die eigentlichen Engineeringarbeiten, die hauptsächlich dazu dienen, die Herstellungskosten zu senken. Dies geschieht durch Verfeinerung der Testprogramme, Optimierung und Verkürzung des Testablaufs und oft weiterer Maskenmodifikationen, die zum Ziele haben, die Prozessausbeute dadurch zu verbessern, dass kritische Schaltungselemente besser den Prozessstreuungen angepasst werden. Selbstverständlich richtet sich der Aufwand, der in dieser Phase betrieben wird, nach dem erwarteten Nutzen, der massgeblich von den Produktionsquantitäten abhängt. Während dieser Phase ist nicht mehr die Entwicklungsabteilung, sondern die Produktionsabteilung zusammen mit der Qualitätssicherung federführend. Trotzdem wird vom Entwickler des Produktes auf der Basis seiner detaillierten Kenntnis des IC eine massgebliche Hilfeleistung verlangt, vor allem wenn es um Optimierungen zur Senkung der Produktionskosten geht.

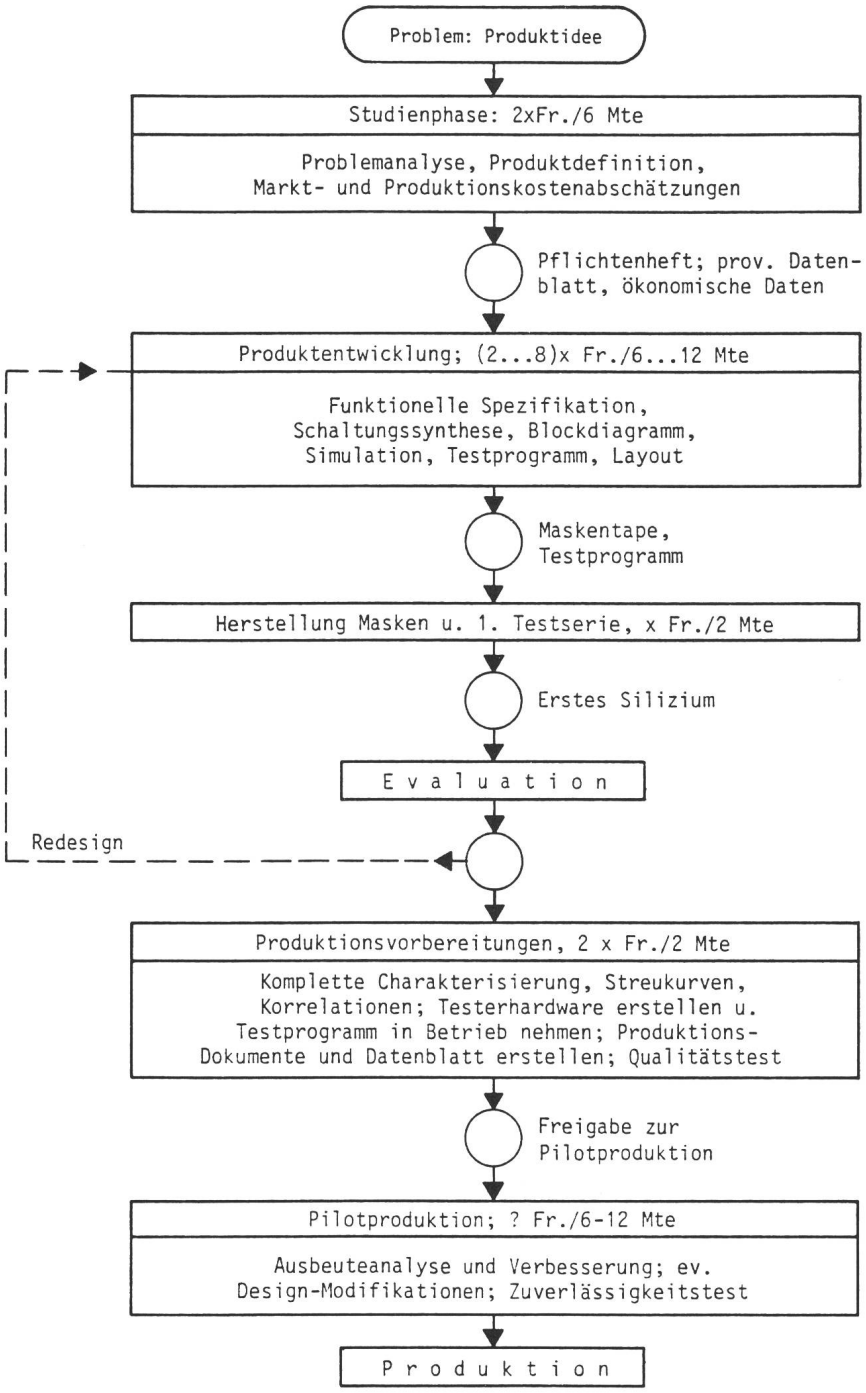


Fig. 2 Entwicklung und Produktionsanlauf eines IC mit groben Angaben über die relativen Kosten und den Zeitaufwand für die einzelnen Phasen

x Bezugsgrösse

Kundenspezifische IC, ein Schnittstellenproblem

Die Zusammenarbeit von IC-Kunde und IC-Hersteller verlangt in erster Linie eine klare Abmachung bezüglich Kompetenz und Verantwortung. Auch hier muss als oberster Grundsatz gelten, dass Kompetenz und Verantwortung deckungsgleich sein müssen. Die Schnittstelle kann dann prinzipiell an

einer beliebigen Stelle gelegt werden, wobei sich einige Schnittstellen dadurch auszeichnen, dass Kompetenz und Verantwortung besser definiert werden können als für andere. Im übrigen soll natürlich die Definition der Schnittstellen die spezifischen Kenntnisse, Möglichkeiten und Interessen der beiden Partner optimal berücksichtigen. Im folgenden seien einige spezielle Fälle etwas näher betrachtet.

1. Vollkunden-IC

Schon rein seiner Bezeichnung nach gehört der Full-Custom-IC nicht in die Kategorie der Semicustom und soll hier nur als Extremfall erwähnt werden. Hier geht der IC-Hersteller vom Pflichtenheft, oft auch nur von einer vagen Problembeschreibung des Kunden aus und liefert die fertigen IC, die alle Attribute eines Standardproduktes haben, ausser dass sie spezifisch für einen einzelnen Kunden entwickelt wurden. Dabei ist es dem IC-Hersteller überlassen, ob er mit einem optimierten Handlayout, mit Standardzellen oder sogar mit einem bei ihm vorhandenen Gate Array arbeiten will. Eine Arbeitsteilung zwischen Kunde und IC-Hersteller findet nicht statt. Der IC-Hersteller wird einen Vollkunden-IC dann offerieren, wenn die später zu produzierenden Quantitäten den Entwicklungsaufwand rechtfertigen. Der Kunde wird sich dann zu einem Vollkunden-IC entschliessen, wenn er den internen Know-how für eine Mithilfe beim Design nicht besitzt und wenn ein genügend grosses Vertrauensverhältnis zum IC-Hersteller besteht, so dass die Abhängigkeit, in die er sich begibt, nicht abschreckend wirkt.

2. IC-Hersteller als Silicon Foundry

Am entgegengesetzten Ende des Spektrums der Zusammenarbeitsmöglichkeiten zwischen Hersteller und Anwender übernimmt der IC-Kunde die gesamte Entwicklung und trägt entsprechend auch das Risiko während der Entwicklungs- und Produktionsphase. Der IC-Hersteller liefert seinem Kunden zu diesem Zwecke die gesamte Prozessdokumentation, im wesentlichen bestehend aus vollständigen Layout-Regeln und Device-Charakteristiken und evtl. zusätzlich einer Zellbibliothek. Als Produktionsunterlage erhält der IC-Hersteller von seinem Kunden das Maskentape.

Ausser dem Format dieses Maskentapes müssen lediglich noch die Details und Toleranzgrenzen der sogenannten Processcontrol Modules (PCM) zur Definition der Schnittstelle abgesprochen werden. Diese PCM benützen die Hersteller auch für ihre Standard-IC zur ständigen Kontrolle der Prozessparameter und zur produktunabhängigen Charakterisierung der fertig hergestellten Scheiben. In einem Silicon-Gate-CMOS-Prozess enthalten sie typisch N- und P-Kanal-Transistoren mit verschiedenen Dimensionen, parasitäre N- und P-Kanal-Transistoren sowohl mit Silizium Gates als auch mit Metal Gates, Elemente zur Messung von Schichtwiderständen, MOS-Kapazitäten, multiple Übergänge für die Evaluierung von Kontaktwiderständen, grossflächige Elemente und Rasterfiguren für die Abschätzung der Ausbeute usw. Der IC-Hersteller wird in diesem Falle einen korrekt durchgeführten Prozess garantieren, definiert und feststellbar anhand der PCM-Figuren, sich im übrigen aber nicht um die vom Kunden entwickelte Schaltung kümmern und diese Schaltung folgerichtig auch nicht testen.

Bei dieser Art von Arbeitsteilung beschränkt sich der IC-Hersteller also auf die Produktion von Scheiben. Nicht nur leistet er keinen Entwicklungsaufwand, sondern es entfallen auch weitgehend Dokumentation, Engineeringarbeiten, Anstrengungen zu Ausbeuteverbesserungen, Redesigns usw., die normalerweise mit der Aufnahme der Produktion einhergehen (Fig. 2). Dies soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Engineeringaufwendungen trotzdem geleistet werden müssen; nur in diesem Falle nicht beim IC-Hersteller, sondern beim Anwender/Kunden. Voraussetzung dafür ist ein Anwender, der die entsprechende Infrastruktur und Kenntnisse besitzt. Im wesentlichen verhält sich ein solcher Anwender als Hersteller, mit dem einzigen Unterschied, dass er nicht in Entwicklung und Unterhalt eines teuren Produktionsprozesses investiert. Der selbstentwickelnde Kunde ist in der Wahl seiner Designmittel, der Art des IC (digital, analog oder gemischt), d.h. auch in der Ansetzung seines eigenen Risikos nicht eingeschränkt.

Diese Art der Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Kunde setzt ein Vertrauens- bzw. ein Vertragsverhältnis voraus, um die kontiunierliche Lieferung von Scheiben sicherzustellen. Ein solches Zusammenarbeitsverhältnis kann sich auch auf die CAD-Werkzeuge erstrecken. Meist wird in einem solchen Fall der IC-Hersteller seinem Kunden die eigene CAD-Software sowie Zellbibliotheken usw. zur Verfügung stellen. Allerdings wird sich der IC-Hersteller für ein solches Dienstleistungspaket entsprechend direkt oder indirekt durch Abnahmeverträge entschädigen lassen. Auch ist klar, dass sich der Anwender in eine relativ grosse Abhängigkeit von einem IC-Hersteller begibt.

3. Zwischenlösungen: Semicustom

Bei den beschriebenen beiden Fällen handelt es sich um Extremlösungen für die Realisierung eines kundenspezifischen IC. Im allgemeinen wird der schweizerische Anwender jedoch Lösungen suchen, die zwischen diesen beiden Extremvarianten liegen. Grundsätzlich gilt für alle diese Zwischenlösungen, dass sie die Freiheit des selbstentwickelnden Anwenders mehr oder weniger stark einengen, um auf der anderen Seite folgende Vorteile zu ergeben:

- Vereinfachung und Systematisierung des Entwicklungsvorganges, so dass dieser von einem Systemspezialisten nach kurzer Einarbeitungszeit durchgeführt werden kann,
- Standardisierung beim Hersteller, um die Kosten einer Produktionsaufnahme in Grenzen zu halten,
- Design-Sicherheit,
- Reduktion von Entwicklungszeit, Entwicklungskosten und Risiko,
- Ermöglichung einer klar definierten Schnittstelle zwischen Hersteller und Anwender/Entwickler.

Am weitesten in dieser Richtung gehen die *Gate Arrays*. Der selbstentwickelnde Anwender beschränkt sich hier auf digitale Funktionen, meist ohne Speicherelemente. Entwicklungszeit und Kosten werden durch diese Beschränkung und das Vorhandensein von bereits vor-diffundierten Scheiben relativ tief gehalten. Der Hersteller spricht pro Basis-Array von einem Produkt, für das die üblichen Engineeringaufwendungen anfallen. Die verschiedenen Verdrahtungsmasken sind dann lediglich noch Varianten eines Themas. Die im Verlaufe der Schaltungsentwicklung (Simulation) generierten Testvektoren führen praktisch automatisch zu einem Testprogramm der individuellen Arrays. Der Hersteller ist in diesem Falle in der Lage, die volle Produktionsverantwortung für das vom Kunden entwickelte Gate Array zu übernehmen, ohne grosse Engineeringarbeiten zu investieren.

Etwas weniger weit geht die Lösung mit *Standardzellen*. Die weniger drastische Einschränkung in der Entwicklungsfreiheit und die Tatsache, dass ein ganzer Maskensatz generiert werden muss, führen verglichen mit dem Gate Array zu höheren Entwicklungskosten und längeren Entwicklungszeiten. Wichtig ist aber, dass auch hier Design-Sicherheit und die Übernahme der Produktionsverantwortung durch den IC-Hersteller ohne grossen Engineeringaufwand nur dann gewährleistet sind, wenn man sich auf digitale Verknüpfungen beschränkt. Noch so minimale Analogteile in einem solchen IC erhöhen das Design-Risiko rasch, verlangen im allgemeinen IC-Erfahrung beim Entwickelnden, ergeben Testprobleme und bedingen einen beträchtlich höheren Engineeringaufwand beim IC-Hersteller.

Sind *Analogteile* im geplanten IC unumgänglich und die Extremvarianten des Vollkunden-IC oder des Wafer Services aus einer Silicon Foundry keine gangbaren Lösungen, so besteht noch die weitere Möglichkeit, aus einem Mitarbeiter des Herstellers und einem oder mehreren Mitarbeitern des Anwenders ein Design Team zu bilden. Der Hauptteil der Entwicklungsarbeit wird dabei durch den Anwender geleistet. Insbesondere übernimmt er die Systemoptimierung, die Simulation und oft auch den Lay-out des Digitalteils. Der Vertreter des Herstellers dagegen zeichnet für die Analogteile verantwortlich und berät den Kunden in allen Fragen. Diese Lösung hat den Vorteil, die Stärken von Hersteller und Anwender so zu kombinieren, dass ein optimales Produkt mit möglichst wenigen Einschränkungen in der Design-Freizeit zustandekommt. Anderseits fallen beim Hersteller alle Kosten eines Vollkunden-IC in der Produktionsaufnahme an. Auch lässt sich die Verantwortlichkeitsfrage nicht sauber definieren, weshalb diese Art der Zusammenarbeit eine grosse Vertrauensbasis benötigt.

4. Die Rolle der Design-Firma

Es wurde bisher davon ausgegangen, dass nur zwei Partner, der Anwender und der Hersteller, mitspielen. Im relativ oft vorkommenden Fall, wo ein Anwender nicht über eigene Möglichkeiten für die IC-Entwicklung verfügt und sich wegen zu kleinen Produktionsstückzahlen kein Hersteller bereiterklärt, ein Vollkunden-IC zu entwickeln, kann ein unabhängiger Dritter als Design-Firma oder Generalunternehmer die Kluft überbrücken. Was bei der Definition der Schnittstelle zwischen Anwender und Hersteller gesagt wurde, gilt auch hier: Auch beim verbindenden Dritten müssen Verantwortung und Kompetenz übereinstimmen. Für den Fall der oben besprochenen Zwischenlösungen wird die eigenständige IC-Entwicklungsfirma im Auftrage des Anwenders seine Systemanforderungen in einen kundenspezifischen Design umsetzen. Dazu wird sich die Design-Firma einerseits zusammen mit dem Anwender in sein Problem einarbeiten und anderseits die Facilitäten eines Herstellers für Semicustom-Design benutzen. Der Hersteller wird mit der unabhängigen Entwicklungsfirma normalerweise so wie mit einem Direktanwender zusammenarbeiten. Nach beendigter Entwicklung wird die unabhängige Design-Firma im allgemeinen keine Rolle zwischen Hersteller und Anwender mehr spielen.

In weit umfangreicherem Masse kommt ein solcher Dritter zum Zuge, falls ein Vollkunden-IC realisiert werden soll auf der Basis von einem oder mehrerer Hersteller, die nur Wafer Service als Silicon Foundry anbieten. Dieser Dritte beschränkt sich in diesem Fall nicht auf die Entwicklung, sondern übernimmt selbst als Teilproduzent die Verantwortung auch während der Produktionsphase. Als Generalunternehmer bietet er dabei seinem Kunden eine Problemlösung in Form von voll garantierten kundenspezifischen IC an. Er trägt dabei voll die Chancen und Risiken seiner Entwicklung, testet die Schaltungen selbst und optimiert den Design nötigenfalls. Die Scheiben für den Design lässt er in einer Silicon Foundry herstellen. Selbstverständlich muss der IC gemäss den Layout-Regeln und mit den Parametern der entsprechenden Silicon Foundry entwickelt sein. Damit hängt ein solcher Design-Unternehmer, im Hinblick auf seine Liefergarantien gegenüber seinem Kunden, sehr stark vom entsprechenden Lieferanten der Scheiben ab. Er wird sich vertraglich gleichermassen gegenüber dem Scheibenlieferanten absichern müssen. Eine dermassen abgesicherte Zusammenarbeit zwischen einem als Silicon Foundry funktionierenden Hersteller und einem Silizium-Generalunternehmer ist recht häufig und dürfte eine vernünftige Lösung darstellen. Will sich der Silizium-Generalunternehmer im eigenen oder im Interesse seiner Kunden weitergehend absichern, so wird er von mehreren Lieferanten Scheiben beziehen. Eine solche Lösung resultiert einerseits in einer kleineren Abhängigkeit und unter Umständen in grösserer Sicherheit, wirft aber anderseits die Frage nach der Kompatibilität eines Designs mit verschiedenen Technologievarianten auf, die im nächsten Abschnitt speziell ausgeleuchtet werden sollen.

Es ist vorstellbar, dass sich der Generalunternehmer, ähnlich wie die Drittfirma, die nur entwickelt, im Verlaufe des Produktionszyklus des Kunden-IC zurückzieht. Dies dürfte vor allem dann der Fall sein, wenn die Stückzahlen des entsprechenden IC derart gross werden und die Preise dermassen unter Druck geraten, dass die Logistik möglichst vereinfacht und das Maximum an Kostensenkungsmassnahmen in der Produktion herausgeholt werden muss. Im schweizerischen Normalfall eines kundenspezifischen IC mit kleinen Stückzahlen wird ein Hersteller jedoch kaum daran interessiert sein, nach erfolgter Entwicklung die uneingeschränkte Produktionsverantwortung zu übernehmen. Nicht nur bleiben ihm in diesem Fall die normalen Aktivitäten und Kosten einer Produktionsaufnahme, sondern die Probleme des Produktionsstartes und der Ausbeuteoptimierung werden noch dadurch verschlimmert, dass niemand im Hause des Herstellers die Schaltung im Detail kennt.

Die Frage einer Zweitquelle

Der Wunsch eines IC-Anwenders nach einer Zweitquelle beruht vordergründig auf der Notwendigkeit einer grossen Liefersicherheit und oft hintergründig auf dem Wunsch nach kommerziellem Manövrierraum. Während für universelle Standardprodukte meistens eine Mehrzahl von Quellen und für anwendungsspezifische Standardprodukte häufig mindestens mehrere Lieferanten vorhanden sind, ist das Problem für kundenspezifische IC weit schwieriger.

Schaltungsspezifikation, Prozesscharakteristiken und Maskenlayout sind eng miteinander gekoppelt. Ohne Übertreibung kann gesagt werden, dass keine zwei Produktionsstellen identische Prozesse haben, sogar wenn zwischen diesen Produktionsstellen, möglicherweise der gleichen Firma, ein Know-how-Austausch stattfindet. Aus historischen Gründen, wegen der

vorhandenen Produktionsapparate oder auch nur wegen des wohlbekannten NIH-(not invented here-)Effekts unterscheiden sich sogar offiziell identische Prozesse, die in verschiedenen Fertigungszentren laufen, mindestens so stark, dass für den gleichen IC verschiedene Maskensätze benötigt werden. Immerhin kann bei solchen identischen Prozessen der eine Maskensatz durch wenige Manipulationen wie Vergrösserung bzw. Verkleinerung gewisser Geometrien, spezielle PCM- und Alignment-Figuren usw. aus dem anderen Maskensatz gewonnen werden.

Handelt es sich nicht um identische, sondern nur um «generisch» gleiche Prozesse, so muss ein grösserer Teil der Entwicklung doppelt vorgenommen werden, um zwei Lieferquellen zu erhalten. Im Falle von relativ unkritischen, rein digitalen Schaltungen genügt oft ebenfalls eine reine Manipulation der Maskendaten, um Maskensätze für zwei generisch gleiche Prozesse zu erhalten. Kommen jedoch analoge Schaltungsteile vor oder sind die Signalverzögerungen einer digitalen Schaltung sehr kritisch, so muss der Entwicklungsvorgang schon ab Blockschaltbild oder noch in einem früheren Stadium dupliziert werden. Die Kosten einer solchen Duplizierung sind selbstverständlich nur dann gerechtfertigt, wenn grosse Stückzahlen des entsprechenden IC produziert werden.

Im Falle der klassischen Semicustom-Varianten Gate Array und Standardzellen kommen die Hersteller dem Bedürfnis des Anwenders nach mehreren Lieferquellen dank der Beschränkung auf digitale IC mit Second-Sourcing-Abkommen entgegen. So sind mehrere Grund-Arrays von verschiedenen Firmen erhältlich, und für Standardzellen-IC unterstützen mehrere Firmen gleiche Bibliotheken.

Für den Fall von Vollkunden-IC versuchen Design-Firmen einen IC so zu entwickeln, dass er, mit dem Prozess verschiedener Herstellerfirmen gefertigt, die Spezifikationen erfüllt. Um dies zu ermöglichen, muss die Design-Firma allerdings aus den geometrischen Bedingungen und den Prozesscharakteristiken der verschiedenen Scheibenlieferanten eine eigene Zellbibliothek aufbauen nach dem Worst-Case-Prinzip. Die Unabhängigkeit von einem bestimmten Scheibenlieferanten und der Kostenvorteil einer nur einmaligen Entwicklung müssen auf diese Art klar mit einer Einschränkung in der Leistungsfähigkeit des betreffenden IC erkauft werden.

Eine echte Situation von mehreren Lieferquellen besteht nur dann, wenn diese Lieferquellen in der Produktionsphase auch aktiv sind; d.h. wenn mehr oder weniger gleichmässig Produkte aus allen Quellen bezogen werden. Eine nur potentielle Zweitquelle, die für den Katstrophenfall einspringen müsste, erweist sich dann oft als zu wenig ausgetestet bzw. hat unter Umständen die zusätzliche Kapazität nicht. In der Regel macht der IC-Hersteller die Beobachtung, dass in der Planungsphase eines kundenspezifischen IC der Frage der Zweitquelle durch den Kunden sehr grosse Bedeutung zugemessen wird. In der Produktionsphase wird dann meist stillschweigend die zweite Quelle zugunsten eines etwas tieferen Stückpreises bei Bezug des Gesamtbedarfes aus einer Quelle vergessen und das Risiko in Kauf genommen bzw. durch Lagerhaltung abgedeckt.

Zusammenfassung

Die zunehmende Komplexität der Integrierten Schaltungen bewirkt, dass diese vermehrt anwendungsspezifisch und in zunehmendem Masse als kundenspezifische Schaltungen entwickelt werden müssen. Der IC-Hersteller, der in erster Priorität seine hohen Investitionen in die Prozesstechnologie durch möglichst hohe Produktionsstückzahlen ausnützen möchte, ist weder in der Lage noch daran interessiert, kundenspezifische IC mit kleinen Stückzahlen zu entwickeln. Auch während der Produktionsphase wird er alles dazutun, diese kundenspezifischen IC nicht individuell als solche betrachten zu müssen, sondern sie in ihrer Gesamtheit als ein Standardprodukt behandeln zu können. Diese Formel «Kundenspezifisches Produkt für den Kunden, Standard-IC für den Hersteller» führte zu den verschiedenen Semicustom-Varianten, wobei immer die Design-Freiheit zugunsten der Standardisierung beim Hersteller eingeschränkt werden muss.

Kann sich ein Anwender mit den beschränkten Möglichkeiten von Semicustom nicht abfinden, so bleibt ihm nur die Möglichkeit, ein Vollkunden-IC durch den Hersteller entwikkeln zu lassen, was nur bei hohen Stückzahlen möglich ist, oder diesen IC selbst oder mit Hilfe einer Design-Firma zu entwickeln und den IC-Hersteller nur noch als reinen Scheibenlieferanten zu benützen.

Trotz den noch bestehenden Unklarheiten wird auch die Schweizer Elektronikindustrie nicht darum herumkommen, sich in den kommenden Jahren vermehrt auf das noch relativ neue Gebiet der kundenspezifischen IC vorzuwagen. Probleme der Zusammenarbeit mit Herstellern und Design-Firmen werden nicht ausbleiben. Wichtig ist, die Abläufe von Anfang an zu kennen und sich nicht nur der Chancen, sondern auch der Risiken bewusst zu sein. Klare Abmachungen zwischen Hersteller, Anwender und evtl. einer dazwischengeschalteten Design-Firma helfen Enttäuschungen zu vermeiden. Daneben ist der Aufbau eines dauerhaften Vertrauensverhältnisses zwischen bestimmten Herstellern und Anwendern, auch wenn dies beide Seiten bis zu einem gewissen Masse verpflichtet und ihre Freiheit beschränkt, immer noch der geeignetste Weg, im gegenseitigen Interesse Probleme gemeinsam zu lösen und die Risiken zu beschränken.