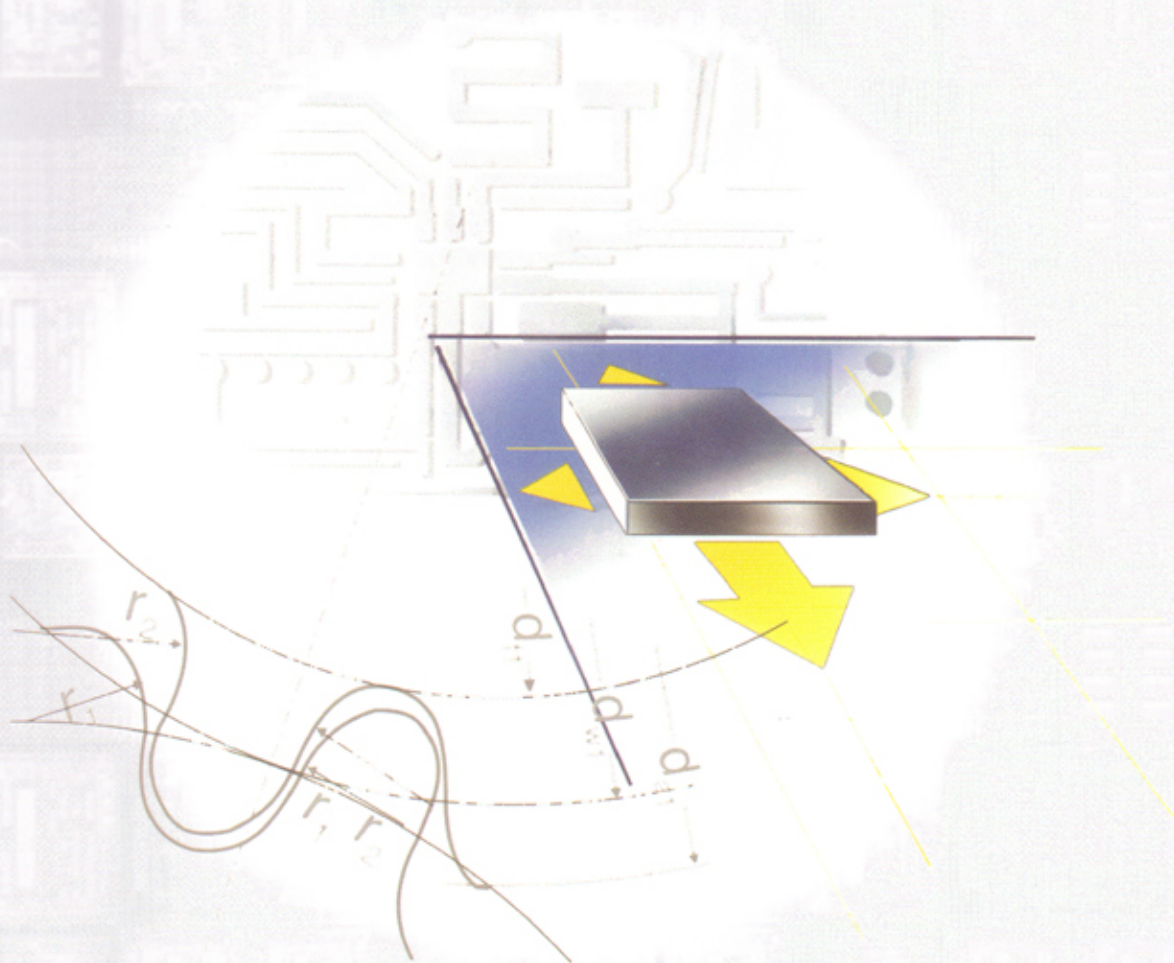


**Institut für Mikroelektronik-
und Mechatronik-Systeme gGmbH**

AN - Institut der Technischen Universität Ilmenau



Jahresbericht 2000



Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
IMMS als Partner für Technologieorientierte Unternehmen	4
Themenbereich "Mechatronik".....	7
Ausgewählte Fachberichte aus dem Themenbereich "Mechatronik"	8
Themenbereich "System Design"	14
Ausgewählte Fachberichte aus dem Themenbereich "System Design".....	15
Themenbereich "Schaltungstechnik / Mikroelektronik".....	21
Ausgewählte Fachberichte aus dem Themenbereich "Schaltungstechnik / Mikroelektronik"	22
Vorträge und Veröffentlichungen	31
Mitgliedschaft in Verbänden, Fachgruppen etc.....	33
Aufsichtsrat / Wissenschaftlicher Beirat.....	34
Organisationsstruktur des IMMS 2001.....	35
Kontakt / Adresse	36

Vorwort

Im vierten Jahr seines Bestehens hat das Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik - Systeme gGmbH erneut die im jährlichen Wirtschaftsplan gesetzten Ziele erfolgreich realisieren und seine Aktivitäten zum weiteren Ausbau von Kooperationsnetzwerken mit Partnern im In- und Ausland kontinuierlich verstärken können. Die in den vergangenen Jahren entstandenen Kompetenzen in der industriellen Grundlagenforschung und der vorwettbewerblichen Entwicklung von heterogenen technischen Systemen wurden gefestigt und in der Zusammenarbeit mit neuen Partnern erweitert.

Diese Tätigkeiten wurden überwiegend im Rahmen öffentlich geförderter Projekte (Thüringen, Bund, EU), aber auch in bilateralen F & E - Projekten mit Industriepartnern in

Deutschland, Finnland, Belgien, Spanien und der Schweiz, sowie in Japan und den USA realisiert.

Die wissenschaftliche Ausrichtung unseres Instituts liegt einerseits im Entwurf eingebetteter Hard- und Softwaresysteme für die Automatisierungs- und Kommunikationstechnik. Andererseits stehen im Themenbereich Mechatronik insbesondere elektrodynamische Antriebssysteme und aerostatische, aerodynamische und magnetische Führungen und Lagerungen für multiaxiale Antriebe im Mittelpunkt unserer Forschungs- und Entwicklungstätigkeit.

Eine Vielzahl wissenschaftlicher Publikationen, Messe- und Konferenzbesuche und Patentanmeldungen sowie erfolgreich durchgeführte Workshops zum „Software - Entwurf für Kfz - Steuergeräte und komplexe eingebettete Systeme“ und zur „Datenübertragung im 868 -MHz - Band“ sind Ausdruck der erfolgreichen Fortsetzung unserer wissenschaftlichen Tätigkeit im Jahre 2000.

Als AN - Institut pflegt das IMMS eine enge Kooperation mit einer Vielzahl von Institutionen und Fachgebieten der Technischen Universität Ilmenau. In etwa 15 Verbundprojekten erfolgt gegenwärtig die wissenschaftliche Zusammenarbeit unter Einbeziehung wissenschaftlicher Mitarbeiter, Studenten unterschiedlicher Matrikel, Diplomanden und Doktoranden. In F&E-Reports stellt unser Institut regelmäßig seine Forschungs- und Entwicklungsergebnisse innerhalb der ausgewiesenen Kernkompetenzen

an der TU Ilmenau vor. Vor dem Senat der TUI erfolgte im April 2000 eine ausführliche Darstellung unserer Tätigkeit als AN - Institut.

Der vorliegende Jahresbericht 2000 demonstriert auszugsweise unsere Ergebnisse und Vorhaben in Forschung und Entwicklung. Neben den fachwissenschaftlichen Belangen informiert er über betriebswirtschaftliche Ergebnisse, über bestehende und vorgesehene Netzwerke mit Partnern und über den Stand unserer derzeitigen Personalentwicklung.

Leider hatten wir in unserem Institut zwei uns alle sehr erschütternde Geschehnisse zu durchleben. Unser bisheriger kaufmännischer Geschäftsführer, Herr Lutz Ostermann, und unser bisheriger Prokurist, Herr Hans-Gerd Stiel, sind plötzlich verstorben.

Beide waren maßgeblich an der positiven Entwicklung unseres Instituts beteiligt. Sie waren uns wertvolle Kollegen und Freunde. Wir werden sie in ehrender Erinnerung behalten und ihnen in der Geschichtsschreibung unseres IMMS einen gebührenden Ehrenplatz einräumen.

Wir sind überzeugt, in ihrem Sinne gehandelt zu haben, diese Verluste durch verstärktes kollektives Handeln, insbesondere im kaufmännischen Bereich wenigstens annähernd auszugleichen und die entstandenen Lücken personell möglichst schnell zu schließen.

Zum 1. Dezember diesen Jahres hat nach einem erfolgreich abgeschlossenen öffentlichen Auswahlverfahren unser bisheriger Abteilungsleiter für Marketing und PR, Herr Hans-Joachim Kelm, als kaufmännischer Geschäftsführer seine Tätigkeit aufgenommen. Bei ihm und insbesondere bei Frau Wiegel bedanke ich mich als wissenschaftlicher Geschäftsführer auch im Namen aller unser Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die erbrachten zusätzlichen Leistungen in dieser schwierigen Zeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie den Mitgliedern des Aufsichtsrates und Wissenschaftlichen Beirats und allen anderen Partnern unseres Institutes für die im Jahr 2000 erbrachten Leistungen und erfolgreichen Forschungsk Kooperationen.



Prof. Dr. Gerd Scarbata
wiss. Geschäftsführer



Hans-Joachim Kelm
kfm. Geschäftsführer

IMMS als Partner für technologieorientierte Unternehmen

Das Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH ist von der Landesregierung gegründet worden und hat den Auftrag erhalten, gemeinnützige Forschung und Entwicklung industrienah durchzuführen.

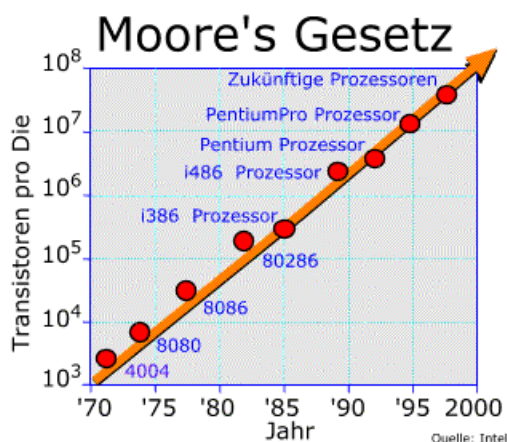
Industrienah bedeutet: Mit grossem Verständnis für die Ziele industrieller Unternehmen und die Schwierigkeit, kontinuierlich neue Produkte auf den Markt zu bringen, welche sich durch wesentlich neue und verbesserte Eigenschaften auszeichnen.

Dies ist nur mit Hilfe einer geeigneten Methode zu schaffen, welche es den Unternehmen ermöglicht, sich effektiv und mit möglichst geringem Risiko Ergebnisse aus der Forschung anzueignen und in Produkte weiterzuentwickeln.

In diesem Spannungsfeld entfaltet das IMMS seine Tätigkeit, die darauf gerichtet ist, den Unternehmen den Aneignungsprozess zu erleichtern und sie ein Stück ihres Weges in die Richtung einer Produktentwicklung zu begleiten. Das IMMS ist praktisch der Schlüssel, mit dem sich die Industrie die Schatzkiste aufschliessen kann, in welcher eine Vielzahl neuer Forschungsergebnisse auf ihre Verwendung warten.

Der wirtschaftliche Nutzen lässt sich mit den folgenden Überlegungen abschätzen:

In der Wirtschaft beträgt der Anteil der in der Forschung tätigen Mitarbeiter ca. 1%. 35 Mitarbeiter des IMMS sind direkt in der Forschung beschäftigt. Somit repräsentiert das IMMS einen Forschungsanteil, der einem virtuellen Unternehmen von ca. 3.500 Mitarbeitern entsprechen würde. Tatsächlich entspricht dies auch den ca. 70 Unternehmen (bei einer durchschnittlichen Betriebsgrösse von ca. 35 Beschäftigten), mit denen das IMMS stabile und längerfristige Geschäftsbeziehungen unterhält.



Unbestritten ist, dass die technologische Entwicklung der Mikroelektronik in den letzten Jahren so voranschreitet, wie es das

Moore'sche Gesetz beschreibt (s. Abb. 1). Dies begründet die Annahme, dass die Mikroelektronik die technologische Entwicklung in vielen anderen Wissensgebieten auch in den nächsten Jahren vorantreiben wird. Insbesondere durch das Zusammenwachsen von Telekommunikation und Computer werden wesentliche Impulse für innovative Produkte und Verfahren in den verschiedensten Bereichen der industriellen Wirtschaft, Verkehr und Konsumtion erwartet. Dies bewirkt aber auch, dass die heute noch im einzelnen betriebenen Wissenschaften wie Informatik, Mikroelektronik, Systemtechnik, Optik, Maschinenbau ... immer näher aneinander rücken werden. Wir sprechen heute bereits von Mechatronik, Optoelektronik, Photonik, Baurtronik u.a.

Das IMMS hat sich dieser Entwicklung von Anfang an gestellt, und entwickelt ständig neue Konzepte, um den wachsenden Herausforderungen immer besser gerecht zu werden.

Bedeutend hierfür ist die Entwicklung und Sicherung langfristig und strategisch an extrapolierten Technologientwicklungen ausgerichteten wissenschaftlicher Kompetenzen in Verbindung mit dem ständigen Bemühen um die Anwendung und Umsetzung in industriellen Lösungen. Die Kompetenzbereiche sind so gewählt, dass sie eine grosse Durchdringung untereinander erreichen können. Es besteht die Absicht, eine weitere Kompetenz zu entwickeln und zwar das interdisziplinäre Erfahren und Verstehen wissenschaftlich technischer Aufgabenstellungen und die Entwicklung adäquater Lösungen. Die Organisation ermöglicht die Bildung von Projektteams horizontal über die vertikal orientierten Themenbereiche (s. Abb. 2). Die Fähigkeit, Mitarbeiter der verschiedensten Fachdisziplinen unter einer Projektleitung zu führen und in Kreativteams aussergewöhnliche Lösungen zu erreichen, wird kontinuierlich verbessert.

Das Interesse der Industrie an Forschungsleistungen ist in der Regel marktorientiert. Die Unternehmen sind ständig auf der Suche nach neuen Lösungen, um identifizierten Bedarf mit neuen Angeboten befriedigen zu können.

Als Folge der immer kürzer werdenden Produktzyklen sind vor allem solche Forschungsleistungen attraktiv, die genau im Trend von tragfähigen Marktentwicklungen liegen. Deshalb bestimmt das IMMS seine fachliche Ausrichtung unter Berücksichtigung mittelfristiger Markttrends und definiert so seine Stellung im Prozess der Wertschöpfung.

Abb. 1: Moore'sche Gesetz

IMMS als Partner für technologieorientierte Unternehmen

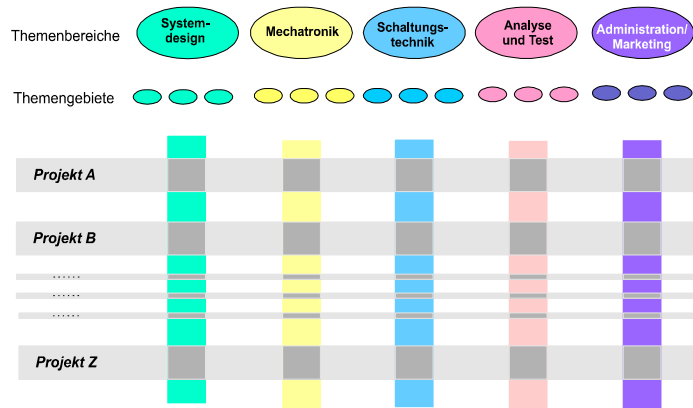


Abb. 2: Organisationsstruktur

Erreicht wird dies durch ein zeitlich gestaffeltes Konzept strategisch ausgerichteter Forschungsziele.

In den Themenbereichen Schaltungstechnik (Mikroelektronik und PCB), Mechatronik, Systementwurf und Analyse und Test wird im Rahmen der Vorlaufforschung die Kompetenzerneuerung organisiert. Ziel ist es, die wissenschaftliche Basis abzusichern, die eine langfristige und stabile Institutsentwicklung trägt. Die Kompetenz kumuliert sich im Wissen und Können der Mitarbeiter, aber auch in der Organisation mit Hilfe beispielhafter Lösungen, Verfahren und Methoden. Sie wird vertreten durch hervorragende Wissenschaftler, Spezialisten und Manager, die die Stammmannschaft des Instituts bilden. Nicht ohne Absicht wurde das Institut ganz in der Nähe der Technischen Universität Ilmenau angesiedelt. Der kurze Weg ermöglicht eine vielfältige und intensive Zusammenarbeit. Die Aneignung der Forschungsergebnisse aus der Grundlagenforschung bewältigt das IMMS im Rahmen gemeinsamer geförderter Forschungsprojekte, über den Austausch von Personal sowie die gegenseitige Aus- und Fortbildung der Mitarbeiter. Dies geschieht noch relativ weit entfernt von einer möglichen konkreten industriellen Nutzung.

Die Themenbereiche werden in anwendungsorientierten Themengebieten strukturiert. Hier werden Anwendungskompetenzen entwickelt, welche sich flexibel an den jeweiligen Erfordernissen der Bedarfsentwicklung beobachteter Märkte aber auch an Zielen industrieller Partner ausrichten.

Orientiert sich die Universität innerhalb eines Zeitraums von zehn Jahren, macht das ein Unternehmen in der Regel sehr kurzfristig für die nächsten ein bis drei Jahre und das IMMS besetzt den Zeitraum dazwischen, mit Orientierungszeiträumen von drei bis fünf Jahren. Fördernd wirken stabile Beziehungen

zwischen Forschungsinstitut und Industrie, da es so zu einer fruchtbaren Verschmelzung zwischen dem Produktwissen des Unternehmens und dem Wissensvorsprung über Technologien, Verfahren und Methoden der Forschungseinrichtung kommt.

Und so wird dem Unternehmen der Zugang zur Forschung aufgeschlossen:

Das IMMS entwickelt konkrete Zielvorstellungen für ausgewählte Anwendungsbereiche und demonstriert beispielhaft, was bei der Anwendung neuer Technologien beachtet werden muss, welche Funktionalität erzielt werden kann und welche technischen

Parameter erreichbar sind. Dies ist eine sehr wichtige und sensible Aufgabe im Entwicklungsprozess. Im allgemeinen kostet das Beschreiten von technologischem Neuland viel Geld und ist mit einem hohen Risiko verbunden, wenn nur auf wenige Erfahrungen im Umgang mit neuen Techniken zurückgegriffen werden kann. Das Institut bringt diese notwendigen Erfahrungen, erworben durch beispielhafte Lösungen, in gemeinsame Forschungsprojekte mit industriellen Partnern ein.

Gleichzeitig werden Methoden und Verfahren bereitgestellt, mit deren Hilfe der Unternehmer seine betrieblichen Abläufe so organisieren kann, dass die Herstellung von Produkten möglich wird. Innovationen bewirken meist radikale Neuerungen nicht nur bei den Produkteigenschaften, sondern auch in betrieblichen Prozessen. Die Verwendung neuer Materialien oder die Anwendung neuartiger Methoden in der Fertigung und Qualitätssicherung erfordern oft Veränderungen in vielen Teilen des gesamten Unternehmens und bei kleineren Unternehmen betrifft es oft den gesamten Betrieb. Alles wird mit einbezogen. Die Mitarbeiter müssen fortgebildet werden, neue Lieferantenbeziehungen sind aufzubauen, neue Maschinen sind anzuschaffen u.v.a.m.

Es wird bereits deutlich: Ein solcher Prozess besitzt eine hohe Komplexität und ist um so effektiver, je früher die Partner zusammenfinden und je intensiver und zielorientierter die Zusammenarbeit zwischen den Forschungs- und Industriepartnern verläuft. Die erzielten Ergebnisse können besser auf die Voraussetzungen beim Industriepartner abgestimmt werden und gleichzeitig die Erwartungen am Markt gut erfüllen. Sie werden hierdurch einzigartig und nur schwer kopierbar. In der Regel wird das anvisierte Ziel rascher erreicht und eine frühzeitige Markteinführung begünstigt. Time - to - Market: Die Zauberformel für mehr

IMMS als Partner für technologieorientierte Unternehmen

Sicherheit, mehr Gewinn und längere Produktlebenszyklen.

Nicht zuletzt wird auch hierfür die Fähigkeit gefordert, unterschiedliche Disziplinen im Entwicklungsprozess miteinander zu vereinen. Das IMMS bietet eine sorgfältige Auswahl aufeinander abgestimmter Fachgebiete, die im entscheidenden Moment die richtigen Lösungen ermöglichen.

Durch eine Vielzahl von Beispielen lässt sich nachweisen, dass das Institut Projekte mit hoher Komplexität zu einem guten Ergebnis führen kann. Interdisziplinäre Arbeit wird im IMMS gross geschrieben und ist unabdingbare Voraussetzung für hohe Flexibilität und Zuverlässigkeit sowie Kreativität.

Am Beispiel einer Präzisions - Laserschneidanlage (s. Abb. 3) soll verdeutlicht werden, wie das Institut Ergebnisse der Grundlagenforschung des Fachbereichs Antriebstechnik der Technischen Universität Ilmenau auf dem Gebiet elektrodynamischer Antriebe weiterentwickelt und Industrieanwendungen zugänglich macht. Mitarbeiter des IMMS analysieren ausgewählte Marktsegmente, wie Laserbearbeitung, Medizintechnik, Bestückung und Messtechnik mit dem Ziel, die Antriebsparameter so weiterzuentwickeln, dass sie sich gut für Anwendungen in diesen Segmenten eignen. Die Ergebnisse eines Vergleichs zwischen den Anforderungen und den angebotenen Leistungsparametern bestimmten wesentlich weitere Forschungsarbeiten. Recht bald wurden Möglichkeiten im Zusammenhang mit Laserbearbeitungen erkannt. Dies führte zu einer Kooperation mit der Fa. LLT Applikation GmbH Ilmenau.

Sehr schnell kamen die Mitarbeiter des Instituts mit dem Industriepartner überein, die gewonnenen Erkenntnisse für die Entwicklung eines neuartigen Maschinenkonzepts anzuwenden. Das Institut bekam von der Fa. LLT den Auftrag, den 3D - planaren Präzisionsantrieb in das Maschinenkonzept zu integrieren. Das Ergebnis ist eine Maschine, die in Genauigkeit und Präzision bei gleichzeitig hoher Geschwindigkeit weltweit seines gleichen sucht. Die Kombination der speziellen Lasertechnologie und des neuartigen Antriebskonzepts ermöglicht erstmals, komplexe und komplizierte Strukturen mit Genauigkeiten von einigen Tausendstel Millimetern mit hoher Produktivität in verschiedenste Materialien zu schneiden. Die Maschine zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität, gekennzeichnet durch kurze Umrüstzeiten sowie einem geringen

Wartungsaufwand im Antriebsbereich aus. Dies ermöglicht, die hohe Präzision ohne zusätzlichen Aufwand über lange Zeit aufrecht zu erhalten.

Die Fa. LLT Applikation GmbH Ilmenau vermarktet diese Maschine unter dem Label microcut 2000®. Für die Transferleistung "Integration eines 3D - elektrodynamischen Präzisionsantriebs in die Präzisions - Laserschneidanlage microcut 2000® der Fa. LLT Applikation GmbH" wurde das IMMS im Rahmen der Verleihung des Thüringer Innovationspreises 2000, vom Thüringer Wirtschaftsministerium mit einer besonderen Anerkennung geehrt.

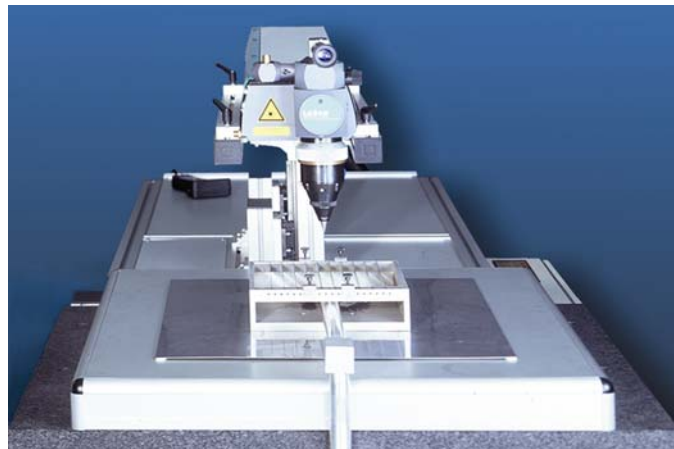


Abb. 3: Präzisions - Laserschneidanlage "microcut 2000®" mit integriertem 3D - elektrodynamischen Präzisionsantrieb

Themenbereich "Mechatronik"

Im Themenbereich Mechatronik werden Präzisionsantriebssysteme für verschiedenste Applikationsfelder entworfen, analysiert und getestet.

Neben dem konstruktiven Entwurf erfolgt in der Regel eine Optimierung auf der Basis einer Modellbildung und Simulation der zum Teil sehr komplexen und heterogenen Systeme. Diese gestattet fundierte Vorhersagen des Systemverhaltens z.B. bezüglich der mechanischen Deformation, der Dynamik und des magnetischen oder thermischen Verhaltens etc. und reduziert die Anzahl der Designzyklen auf ein Minimum. Die verwendeten Werkzeuge hierfür sind u.a. Ansys, Maxwell und Matlab/Simulink. Der konstruktive Entwurf erfolgt mit Hilfe von Mechanical - Desktop oder Pro/Engineer. Die im Bereich Mechatronik anvisierten Themengebiete

- Direktantriebssysteme
- Antriebe für erschwerte Einsatzbedingungen und
- Komplexe mechatronische Systeme

haben langjährige Tradition und gehen zum Teil auf umfangreiche Grundlagenforschungen der Technischen Universität Ilmenau zurück, zu der wir einen regen wissenschaftlichen Kontakt pflegen.

Unsere Arbeitsweise bei der Lösung von Projektaufgaben zeichnet sich insbesondere durch eine Betrachtung und Optimierung der Systeme als Ganzheit aus und basiert auf einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit von Fachkräften aus verschiedenen Fachgebieten und Mitarbeitern des Auftraggebers in Projektteams.

Die am IMMS entworfenen Antriebssysteme zeichnen sich in der Regel durch folgende Eigenschaften aus:

-

Positionsauflösungen bis zu 1 nm

- hohe Genauigkeit und Dynamik auch bei Bahnbewegungen (multiaxiale Direktantriebe)
- unterschiedliche physikalische Wirkprinzipien (z.B. elektrodynamisch, piezoelektrisch)

Neben dem Entwurf neuartiger applikations- und kundenspezifischer Antriebslösungen sowie deren Adaption mit geeigneter Sensorik und Steuerungstechnik und Integration in Geräte und Anlagen verfügen wir gleichzeitig über umfangreiches Know - How für das Gerätedesign, bestehend aus konventionellen Antriebs-, Sensor- und Steuerungskomponenten.

Eine umfangreiche Ausstattung an Mess- und Steuerungstechnik ermöglicht eine gute Bewertung der Antriebseigenschaften sowie ein Rapid - Prototyping beim Entwurf optimal angepasster Steuerungssoftware.

Folgende Systeme werden derzeit entwickelt und untersucht:

- Laser - Präzisionsbearbeitungs- und strukturierturiersysteme
- Planare elektrodynamische Direktantriebssysteme
- Magnetische Lagerung von Wellen
- Mikro - Tribologiesysteme
- Antriebe für HV und UHV Anwendungen
- Entwurf mehrachsiger digitaler Regelungssysteme
- Entwurf von Anlagen und Komponenten zur Fertigung Mikro - Elektro - Mechanischer Systeme (MEMS - Fab)

Künftig anvisierte Aufgabenstellungen sind:

- 3D- Laser - Präzisions - Messmaschine
- Antriebe für Stepper und Lithographiesysteme
- Optische Oberflächenmesstechnik

Ansprechpartner:

Dr. Christoph Schäffel

Tel.: +49 (3677) 678333

Email: christoph.schaeffel@imms.de



"Entwurf, Konstruktion und Erprobung von Magnetlagerungen für hochdrehende Laser - Radial - Verdichter unter Berücksichtigung modernster Regelungsstrategien"

Zielstellung

Magnetlager haben sich in den vergangenen Jahren auf Grund ihrer Systemvorteile, wie Wartungsfreiheit und nahezu reibungsfreie Lagerung, ein großes Anwendungsspektrum erschlossen. Diese Charakteristika prädestinieren sie u.a. zum Einsatz in Vakuumpumpen und Verdichtern. Höhere Rotationsgeschwindigkeiten in Folge verringerter Reibung erlauben den Vorstoß in neue Dimensionen bei der Pumpenleistung. Die Wartungsfreiheit vermeidet Stillstandszeiten und trägt so in erheblichem Umfang zur Senkung der Betriebskosten bei, da Verdichter oft in hochwertigen Industrieanlagen zum Einsatz kommen. Magnetlager für hochdrehende Radial - Verdichter zur Reingasumwälzung werden am IMMS im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit der Fa. Becker GmbH & Co. entwickelt, konstruiert und erprobt. Das im September 2000 begonnene Projekt wird vom Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst gefördert.

Forschungsverlauf und -stand

Das Projektvorhaben gliedert sich in die Schwerpunkte

- Bewertung und Auswahl von Magnetlagerprinzipien, Simulation und Entwurf der zwei Radiallager und des Axiallagers
- Reglerentwurf auf der Basis einer Mechaniksimulation sowie hardwareseitige Implementierung

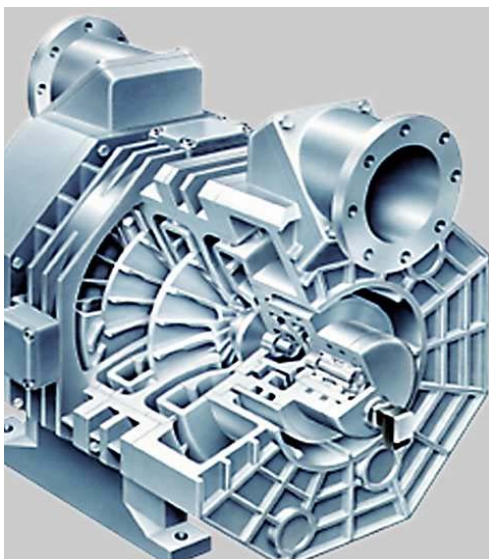


Abb. 1: Radialverdichter für Reingasumwälzung

- Auswahl von Sensorprinzipien, Entwurf und Aufbau der Sensoren und zugehöriger Elektronik
- Entwurf und Aufbau für Ansteuerelektronik der Regelspulen sowie
- Konstruktion von Labormustern.

Das Magnetlager nutzt die an den Grenzflächen zwischen Eisenkreis und Luftspalt entstehende Reluktanzkraft. In Abhängigkeit von der Richtung der Flußdichte im Eisenkreis - quer oder längs zur Welle - wird zwischen hetero- und homopolaren Radiallagern unterschieden. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Anzahl der Pole sowie die Art der Vormagnetisierung (permanentmagnetisch oder mit Spulen). Aus diesen prinzipiellen Lagerformen ist ein bezüglich erzielbarer Kräfte, Lagergeometrie, Wärmeverhalten sowie Fertigungsaufwand und -kosten optimales Lager auszuwählen. Als Bewertungsgrundlage dient dabei ein zweistufiges Modell. Auf das analytische Modell zur Grobdimensionierung setzt ein FEM - Modell zur Feindimensionierung auf. Im Ergebnis der Untersuchungen kristallisiert sich ein vier - poliges Heteropolarlager als optimales Lager heraus.

Für den Entwurf eines robusten Reglers ist es notwendig, die Welle mit ihren sechs Freiheitsgraden als gekoppeltes System zu betrachten. Die Welle wird im Regler mittels konzentrierter Massen modelliert. Das Wellenmodell wurde validiert durch Messungen (Modalanalyse) an der Welle sowie durch ein FEM - Volumenmodell in ANSYS. Die Implementierung des Reglers erfolgt für das Labormuster mit dem Rapid - Prototyping System dSpace und ist perspektivisch auf einer bezüglich der Funktionalität und Kosten optimierten Hardware umzusetzen.

Für die Lagedetektion stehen optische, kapazitive und Wirbelstromsensoren zur Auswahl. An Hand von Laborschaltungen wurden Voruntersuchungen zu Auflösung, Störabstand und Signalauswertung der einzelnen Sensorprinzipien vorgenommen sowie eine Vorauswahl an geeigneten Sensoren getroffen. Die Untersuchungen werden am Labormuster fortgeführt.

Für den Aufbau eines Labormusters wurde die Verdichterwelle nebst Stator zur Aufnahme der Magnetlager redesignt. Die Fertigung der benötigten Komponenten ist abgeschlossen, die Montage des Labormusters und seine Inbetriebnahme stehen unmittelbar bevor. Am Labormuster werden die Voruntersuchungen und Modelle validiert, Ergebnisse werden beim Redesign des Labormusters umgesetzt.

Ausblick

Der Schwerpunkt der zukünftigen Arbeiten liegt nach Inbetriebnahme des Labormusters bei der Optimierung von Sensorik- und Elektronikkomponenten. Nach der Anpassung des entworfenen Reglers soll mit der Verdichterwelle deren Nenndrehzahl von 30000 U/min erreicht werden.

Beim vorgestellten Systementwurf wurde der Radial - Verdichter der Fa. Becker an die Magnetlagerung angepaßt, wodurch eine optimale Gestaltung der Welle für Lagerung und Regelung nur bedingt möglich ist. Vorhandene Antriebskomponenten wurden nicht modifiziert. Ziel der nächsten Projektstufe ist die konstruktive und elektronische Optimierung des Gesamtsystems Radial - Verdichter. Besonderes Augenmerk gilt dabei den Antriebskomponenten mit Hinblick auf eine mögliche Kombination von Lager- und Antriebskomponenten.

Ansprechpartner:

DI Steffen Michael

Tel.: +49 (3677) 678362

Email: steffen.michael@imms.de

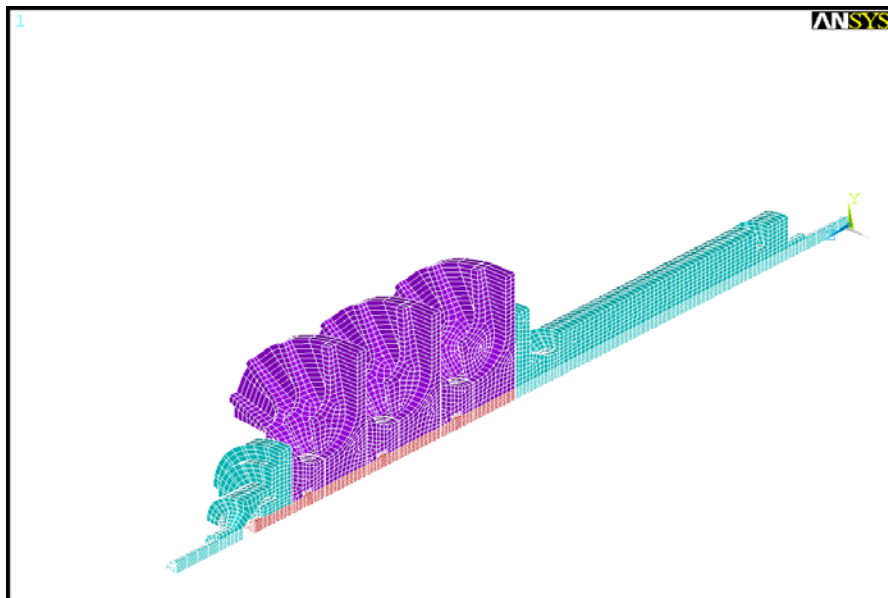


Abb. 2: FEM - Modell der Verdichterwelle unter Nutzung der Rotationssymmetrie

Ionen - Projektions - Lithographie (IPL)

Zielstellung

Für die Herstellung einer neuen Generation von Halbleiterchips mit Strukturbreiten weit unter 100 nm (z.Zt. ca. 150 nm) werden neue Belichtungs- und Produktionsmethoden benötigt, welche die physikalischen Grenzen derzeit verwendeter optischer Wafer - Belichtungsverfahren überwinden. Durch europäische Halbleiterfirmen (vornehmlich der Infineon AG) wird als zukünftiges Verfahren die Ionen - Projektions - Lithographie (IPL) untersucht. Im Rahmen eines MEDEA - Projektes erfolgt der Aufbau eines Testsystems zur Erprobung des Verfahrens.

Forschungsverlauf

Am IMMS wurde in enger Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau, Fachgebiet Antriebstechnik sowie der Leica Microsystems Lithography GmbH in Jena als Teilprojektkoordinator das Konzept und der Aufbau eines Antriebssystems zur Positionierung des Wafers, relativ zum Ionenstrahl, entwickelt. Dabei galt es folgende, entscheidenden Anforderungen an den Wafertisch zu berücksichtigen und technisch umzusetzen:

- Vertikale Arbeitsebene mit senkrecht stehendem Wafertisch
- Verfahrensbereich von $320 \times 320 \text{ mm}^2$ senkrecht zum Belichtungsstrahl für die Bearbeitung von 300 mm Wafern
- Feinpositionierung in allen sechs Raumachsen
- Positioniergenauigkeit im Submikrometer- bzw. Mikrorad - Bereich
- Hohe Produktivität durch Beschleunigungen bis 1 g und Verfahrensgeschwindigkeiten bis 400 mm/s
- Geschwindigkeitskonstanz beim Verfahren senkrecht zum Belichtungsstrahl von 1 %
- Geringe Magnetfelder ausserhalb des Antriebes (Gefahr der Ablenkung des Ionenstrahls)
- Einsatz des Antriebes im Hochvakuum (10^{-6} mbar)

Nach Abwägung der Vielzahl sich zum Teil gegenseitig ausschliessender Anforderungen fiel die Entscheidung zu Gunsten eines magnetisch geführten, elektrodynamischen Direktantriebsystems aus. Das Entwicklerteam konnte dabei auf bereits vorhandenes Know - How beim Design und der Steuerung derartiger Direktantriebe zurückgreifen. Herausragende Eigenschaft des entworfenen Antriebssystems ist die magnetisch / elektrodynamische, berührungsfreie Führung in allen sechs Raumkoordinaten. Dabei wurde

die Bewegung in der vertikalen Ebene aufgespalten. Ein Schrittmotorantrieb ermöglicht eine grobe Positionierung über 320 mm in der senkrechten Y - Achse, während ein magnetisch geführter, hochpräziser elektrodynamischer Direktantrieb neben der Bewegung über 320 mm in der horizontalen X - Achse auch die Feinpositionierung in allen Koordinaten vornimmt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Gesamtstruktur.

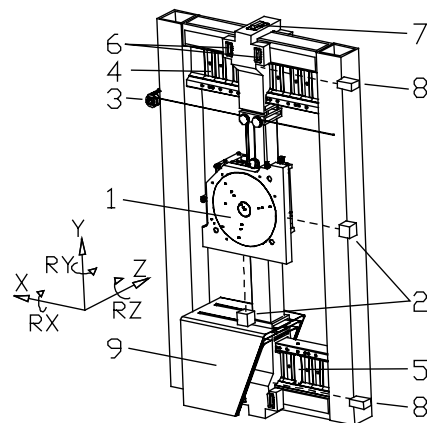


Abb.1: Struktur des Wafertisches

Der zu belichtende Wafer wird auf einem hochpräzisen, temperaturstabilen elektrostatischen Waferchuck (1) platziert. Spiegelflächen an den Seiten des Chucks ermöglichen die Messung seiner Position mit einem 6 - Strahl - Laserinterferometer (2) (Auflösung 0.6 nm) in allen Raumkoordinaten ausser Z. Diese Koordinate wird auf der Waferoberfläche mit Hilfe von drei hochgenauen kapazitiven Wegsensoren ermittelt. Der Waferchuck ist spannungsfrei an einem Titangestell befestigt, welches mittels trockenlaufender Keramikrollen senkrecht an einem Keramikprofil entlanggleitet und an diesem von vier Piezostapeln mit einer Genauigkeit von $\pm 10 \text{ nm}$ geklemmt werden kann. Der Antrieb für die senkrechte Y - Grobpositionierung ist ein Seilzug mit Schrittmotor (3). Das Antriebssystem besteht aus zwei (oben (4) und unten (5)) magnetisch geführten, linearen elektrodynamischen Direktantrieben, welche jeweils mit einer dreifachen magnetischen Abschirmung (9) versehen sind. Die Direktantriebe ermöglichen eine horizontale Bewegung in der X - Koordinate im Bereich von $\pm 160 \text{ mm}$, welche mit Hilfe von zwei "lokalen" Laserinterferometern (8) (Auflösung 5 nm) oben und unten gemessen wird. Eine ungleiche Positionierung beider Antriebe führt zu einer Positionierung in RZ. Beide Läufer der Direktantriebe sind mit je fünf elektromagnetischen Aktoren (1 in Y -

Richtung (7) und 4 in Z - Richtung (6))
ausgestattet. Jeder dieser Aktoren besitzt sein
eigenes, "lokales" kapazitives Messsystem zur
hochgenauen Messung des Luftspaltes
(Auflösung 20 nm) zwischen Aktor und
Führungsfläche im Bereich von ± 0.5 mm.



Abb. 2: **Segment der Vakuumkammer mit dem Wafertisch**

Neben der berührungsfreien Führung der Direktantriebe erfolgt eine Bewegung in den Koordinaten Y, Z, RY und RX durch die gezielte Beeinflussung der Luftspalte der elektromagnetischen Aktoren. Dabei überlagert die Bewegungsmöglichkeit der magnetischen Führung in Y die grobe Bewegung, die mit dem Seilzug realisiert wird.

Forschungsstand

Im Jahre 2000 wurden am Standort Jena der Nachweis der Erreichbarkeit der gesteckten Ziele hinsichtlich Positioniergenauigkeit und Verfahrensgeschwindigkeitskonstanz erbracht. Unter Berücksichtigung der geometrischen Daten und der Auflösung der einzelnen Messsysteme ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Verfahrensbereiche und Positionsaufösungen in den einzelnen Koordinaten. Die erreichte Positionsrue im Versuchsaufbau ohne Schwingungsisolation ist in Tabelle 2 dargestellt.

Koordinate	Positionsrue (3 σ)
X	110 nm
Y	140 nm
Z	220 nm
RX	220 nrad

RY	800 nrad
RZ	300 nrad

Tab. 1: Bewegungsbereich und Auflösung

Durch die TU Ilmenau wurde die Möglichkeit der Kommunikation zum übergeordneten Host der Gesamtanlage über TCP/IP - Protokoll und Ethernet - Schnittstelle realisiert. Damit ist es nun möglich, von jedem im Netzwerk zugelassenen Rechner (also auch vom Standort Ilmenau aus), einen Clienten zu starten, der dem Server die gewünschten Kommandos übermittelt.

Koordinate	Bewegungs- bereich	Auflösung
X	± 160 mm	5 nm
Y	± 160 mm/ $\pm 0,5$ mm	20 μ m/ 20 nm
Z	$\pm 0,5$ mm	20 nm
RX	$\pm 0,4$ mrad	16 nrad
RY	± 4 mm	160 nrad
RZ	± 5 mm	6 nrad

Tab. 2: Positionsrue ohne Schwingungsisolation

Ausblick

Die bereits zum Ende des Jahres 2000 vorgesehene Evakuierung der Vakuumkammer erfordert weitere vorbereitende Arbeiten. In Verbindung mit der Evakuierung der Vakuumkammer erfolgt die Montage der Schwingungsisolation für die Kammer. Dadurch werden neben dem Test der Vakuumtauglichkeit (Ausgasen, vertretbare Pumpzeit, zulässige Spulenerwärmung) insbesondere die Performanceverbesserungen des Wafertisches hinsichtlich Positionsstabilität und Markenmessung (Scan - Reproduzierbarkeit) Gegenstand der Untersuchungen im 1. Quartal 2001 sein. Im Anschluss erfolgt die Integration des Wafertisches in das IPL Prozess Development Tool bei der Ionen Mikrofabrikations Systeme (IMS) GmbH in Wien.

Ansprechpartner:

DI Andrew Hoffmann

Tel.: +49 (3677) 678318

Email: andrew.hoffmann@imms.de

"Fabrikation von Mikro - Elektro - Mechanischen Systemen" (MEMS - Fab)

Zielstellung

Weltweit entwickelt sich zunehmend bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Bedarf, die in F&E entwickelten Produkte mit hoher Fertigungseffizienz schnell und wirtschaftlich herzustellen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Stückzahlen (z.B. Kleinserien) und der Vielzahl der durch die KMUs zu lösenden Anwenderprobleme müssen die Prozessketten flexibel und damit modular gestaltet werden, so dass ein schnelles Reagieren auf den wechselnden Bedarf, z.B. den Austausch einzelner Prozessschritte oder das Einfügen zusätzlicher Prüfprozesse, möglich ist. Mit den Kleinfertigungsanlagen werden teure Reinräume durch Vakuumrezipienten oder Inertgasräume abgelöst. Sie erlauben eine flexible Verkettung der erprobten Vorbereitungs-, Fertigungs- und Nachbereitungsprozesse, die lediglich an die zu erwartenden Stückzahlen und die räumlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Die modularisierten Prozessschritte der Fertigung, Montage, Qualitätssicherung usw. ermöglichen eine entsprechend den wechselnden Bedürfnissen der KMU problemlos umstrukturierbare bzw. erweiterbare Kleinfertigungsanlage, wobei die Einzelprozesse jeweils in separaten Prozesskammern untergebracht und entsprechend den geforderten Umweltbedingungen evakuiert (Vakuum, HV, UHV) bzw. geflutet (Schutzgas) werden können (s. Abb. 1). Die Verkopplung der Prozesskammern erfolgt über einheitliche Koppelstellen, die einerseits die Verbindung der Prozessschritte einschliesslich der notwendigen Transfersysteme realisieren, andererseits aber auch eine Trennung der Einzelprozesse ermöglichen und damit die gegenseitige Beeinflussung unterbinden.

Forschungsverlauf und -stand

Ziel der Projektpartner¹ ist die Entwicklung eines modularen und von äusseren Randbedingungen unabhängigen Systems für die Fertigung von mechatronischen Produkten mit kleinen Abmessungen in kleinen und mittleren Stückzahlen. Es ist so konzipiert, dass für die Anwender nur minimierte Investitionsaufwendungen entstehen. Der im Projekt beispielhaft zu realisierende Demonstrator ermöglicht die Herstellung von Sensor- und Aktorkomponenten unter Verwendung fotostrukturierbarer Gläser. Die jeweiligen Herstellungs- u.a. Prozessschritte werden von bekannten Technologien und

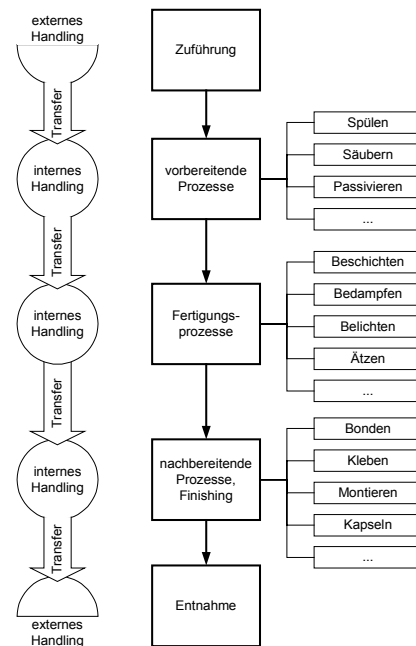


Abb. 1: Beispiel einer Kleinfertigungsanlage

Verfahren übernommen. Folgende Schwerpunkte werden bearbeitet:

- Auswahl und Anpassung handelsüblicher prozessspezifischer Kleinfertigungsanlagen, z.B. Beschichtungsapparaturen
- Weiterentwicklung handelsüblicher bzw. Konzipierung, Entwurf und Bau geeigneter Rezipienten, Schleusen und Pumpen
- Anpassung der prozessnahen Analytikhard- und Software zur Parameterbestimmung der Werkstücke / Proben vor und nach den einzelnen Prozessschritten
- Realisierung der flexiblen Kopplung durch die Entwicklung universeller Koppelstellen
- Konzipierung, Entwurf und Bau universeller Transfer- und Handlingsysteme sowie der dafür notwendigen Magazine
- Konzipierung, Entwurf, Bau bzw. ggf. Zukauf geeigneter Sensorik, Mess- und Steuerungstechnik für die Prozesssteuerung

Das IMMS befasst sich mit den folgenden Arbeiten:

- konstruktiver Gesamtentwurf der Demonstratoranlage
- Entwicklung, Aufbau und Test der notwendigen Antriebstechnik für das Proben- / Werkstückhandling, für die Greiftechnik und für die Magazinierungssysteme
- Entwurf der für die Verkopplung der Prozesskammern notwendigen Transfersysteme einschliesslich der darin enthaltenen Antriebstechnik

Ansprechpartner:

Dr. Frank Spiller

Tel.: +49 (3677) 678326

Email: frank.spiller@imms.de

¹ TETRA GmbH; ILMVAC GmbH; Labor- und Messgeräte Stützerbach GmbH; IMMS gGmbH; TU Ilmenau

"Geregelte Präzisionsantriebe unter erschwerten Einsatzbedingungen"

Forschungsverlauf

Im Forschungsverbundprojekt werden kompakte und verschleissarme mechatronische Präzisionsantriebe entwickelt, die eine hohe Genauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit erreichen und gleichzeitig unter erschwerten Umweltbedingungen einsetzbar sein. Anhand von Versuchsaufbauten und Demonstratoren soll nachgewiesen werden, dass es aufgrund moderner Werkstoffe und Werkstoffkombinationen, z.B. neuartiger Schichtsysteme für Lagerungen bzw. Führungen, möglich ist, hochpräzise mechatronische Systeme unter erschwerten Umgebungsbedingungen einzusetzen. Die angestrebten Positioniergenauigkeiten liegen dabei im Bereich von unter 10 nm bzw. hundertstel Bogensekunden.

Forschungspartner im Verbundprojekt sind die IMMS gGmbH Ilmenau (Konzept, konstruktive Entwicklung, Erprobung und Simulation), die TETRA GmbH Ilmenau (Entwicklung der Sensorik und Steuerungstechnik), die PI Ceramic GmbH Lederhose (Entwicklung der rotatorischen und translatorischen Antriebselemente für den Einsatz im UHV), die Jenoptik Mikrotechnik GmbH Jena (Test der Komponenten und Systeme) und die TU Ilmenau, Institut für Physik (Untersuchung von Werkstoffen und Werkstoffpaarungen unter verschiedenen Einsatzbedingungen).

Im Projekt werden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Entwicklung und Bau spezieller Mess- und Analysensysteme für die Durchführung der werkstofftechnischen Untersuchungen (z.B. Tribometer) und Durchführung der Untersuchungen
- Entwicklung, Aufbau und Test rotatorischer bzw. translatorischer Antriebselemente sowie weiterer Komponenten für die Demonstratoren der Präzisionsantriebe
- Entwicklung, Aufbau und Test anwendungsspezifischer Sensorik, Mess- und Steuerungstechnik.



Abb. 1: Mikrotribometer für die Probenpaarung Fläche / Fläche

Die umfangreichen werkstofftechnischen Untersuchungen beinhalten u.a. die Ermittlung des Desorptionsverhaltens und der tribologischen Eigenschaften der Werkstoffe und Schichten unter definierten Einsatzbedingungen. Aus den tribologischen Untersuchungen werden Erkenntnisse für den späteren Einsatzfall, z.B. in Gleit- bzw. Wälzlager- bzw. -führungen, abgeleitet.

Forschungsstand

Im Projekt wurden verschiedene Werkstoffe und Werkstoffpaarungen auf ihre tribologischen Eigenschaften in Normalatmosphäre, auf Reibungs- und Verschleisseigenschaften und insbesondere auf das Desorptionsverhalten untersucht, um detaillierte Aussagen über ihre Eignung für verschiedene Umgebungsbedingungen zu erhalten. Für die Durchführung weiterer tribologischer Untersuchungen, die sowohl in Normalatmosphäre und unter Schutzgas, als auch im Hoch- und Ultrahochvakuum stattfinden, entstanden unterschiedliche Varianten von Pin-on-Disk bzw. oszillatorisch arbeitenden Mikrotribometern und anderen Testern, Abb. 1 bis 3. Für die Untersuchungen sind Probekörperpaarungen Kugel / Fläche und / oder Fläche / Fläche einsetzbar. Mit dem Mikrotribometer für Normalatmosphäre wird eine Normalkraftauflösung von 40 μN , eine Tangentialkraftauflösung von 1 μN und ein



Abb. 2: Mikrotribometer für die Probenpaarung Fläche / Fläche

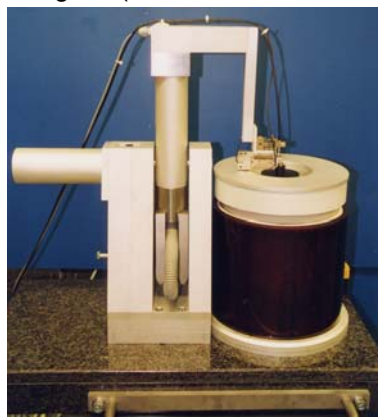


Abb. 3: Universaltester, 7-achsig

Tangentialkraftbereich von 1 μN bis 25 mN erreicht. Für die Untersuchung der tribologischen Eigenschaften unter Vakuumbedingungen entstand ein Vakuumoszillationsreibungstester mit einer Relativbewegung der Proben von $\pm 3 \text{ mm}$ für einen Normalkraftbereich von 0 N bis 5 N mit einer Tangentialkraftauflösung von 2 mN und einer Oszillationsfrequenz von 1 mHz bis 10 Hz.

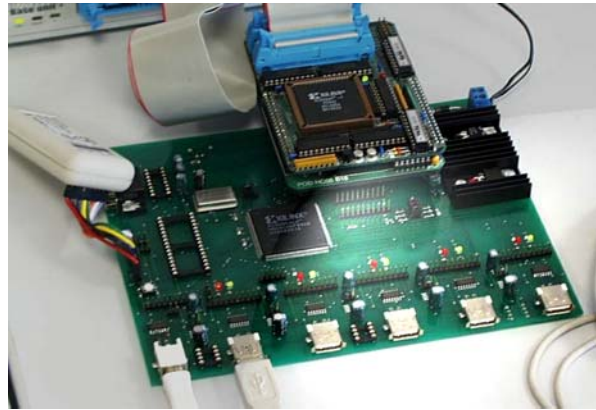
Ansprechpartner:
Dr. Frank Spiller
Tel.: +49 (3677) 678326
Email: frank.spiller@imms.de

Themenbereich "System Design"

Der Themenbereich "System Design" beschäftigt sich mit dem Entwurf und der Realisierung komplexer eingebetteter elektronischer Systeme. Besonders wichtig ist dabei die Anwendung durchgängiger Entwicklungsprozesse auf Basis applikations- und architekturspezifischer Design - Flows. Das heisst: Ein hochkomplexes elektronisches System wird zunächst auf abstrakter Ebene (Verhaltensbeschreibung) modelliert und simuliert, um es dann schrittweise zu synthetisieren, zu implementieren und zu integrieren. Die abstrakte Modellierung geschieht in Anwendung von Tools und Methoden wie Statemate, Matlab/Simulink, HDL und System - C. Im Ergebnis des Designprozesses entstehen als Hardware Systemlösungen in Form von ASICs, FPGAs, klassischen PCB Designs, IPs (intelligent Properties) und Systems - on - Chip und als Software Firmware und Applikationen für eingebettete DSPs und Microcontroller (ARM, X86, MIPS, PPC, SHARC, TI - DSP). Der Themenbereich gliedert sich in drei Themengebiete, die sich gegenseitig bedingen und überlappen, um ein höheres synergetisches Potential zu erreichen. Das ist nötig, da eine erfolgreiche Projektarbeit fast immer themengebieteübergreifend gestaltet werden muss.

Im Themengebiet "Digitale Signalverarbeitung /Industrieelektronik" adressieren wir die Applikationsdomänen, Industrielle Mess- und Steuerungstechnik und Automatisierungstechnik. Es sind auch Entwicklungen für den Automobilbereich denkbar. Im wesentlichen geht es hier um eingebettete Signalverarbeitung im industriellen Umfeld, um sensornahe Messsignalverarbeitung und um Hardware designs für ASICs und PLDs. Projekte dazu betreffen die Weg- und Winkelmesstechnik und die industrielle Bildverarbeitung.

Im Themengebiet "Embedded Software / Automotive Systems" zielen wir auf die Applikationsdomänen Automobiltechnik und Telekommunikation und konzentrieren uns auf den Softwareentwurf für vernetzte KFZ Steuergeräte. Die bei uns erforschten Methoden zum modellbasierten Entwurf solcher Softwaresysteme (z.B. unter Verwendung von UML) und zu deren formaler Spezifikation und Verifikation, stellen eine wesentliche Voraussetzung für effiziente Systementwürfe im gesamten Themenbereich dar. Ein weiterer Schwerpunkt des Themengebietes sind Applikationen und Treiber für Echtzeitbetriebssysteme sowie der Einsatz von Linux in eingebetteten Systemen, von dem wir uns in Zukunft eine hohe Dynamik in Forschung und Entwicklung versprechen. Projekte im Themengebiet "Embedded Software / Automotive



Systems" betreffen die bereits angesprochenen Steuergeräte und den Entwurf einer Controllerplattform für GPS/GSM Anwendungen. Das Themengebiet "Busse und vernetzte Systeme" definiert die Applikationsdomänen Automatisierungstechnik, Telekommunikation und zum Teil auch Consumerelektronik als sein Zielgebiet. Die Anwendung serieller Busse in der Automatisierungstechnik (IEEE1394, USB, Industrial Ethernet, Feldbusse) ist hier als ein Schwerpunkt zu nennen, der auch in einem aktuellen Forschungsprojekt bearbeitet wird. Desweiteren gibt es Aktivitäten im Mobilfunkbereich, wie die Simulation von Mobilfunksystemen unter Verwendung adaptiver Antennen. Die Anwendung objektbasierter Techniken im Automationsbereich trägt der Entwicklung zur 3. Generation der Automatisierungstechnik Rechnung. Hier geht es um den Einsatz von CORBA oder vergleichbaren Ansätzen, um verteilte Intelligenz in Automatisierungsgeräte zu implementieren und miteinander kommunizieren zu lassen.

Für uns entsteht hier eine konkrete Vision: Wir entwickeln intelligente integrierte Systemknoten, bestehend aus Hardware- und Softwarekomponenten, die miteinander über schnelle Bus- und Kommunikationssysteme kommunizieren. Wir entwerfen diese verteilten Systeme in interdisziplinärer Arbeit mit Hilfe modernster Entwurfsmethoden und sichern somit ein Höchstmass an Flexibilität für den Einsatz solcher Systeme in Wachstumsbranchen wie Automatisierungstechnik, Kommunikations-technik, Automobilindustrie und Industrieller Messtechnik.

Damit ist deutlich zu erkennen, welche Synergieeffekte sich durch die Überlappung der drei Themengebiete des Themenbereichs "System Design" ergeben. Dies versetzt uns in die Lage, komplexe eingebettete Systeme für verschiedene Anwendungsgebiete erfolgreich entwerfen und integrieren zu können.

Ansprechpartner:

Dr. Christian Schröder

Tel.: +49 (3677) 678315

Email: christian.schroeder@imms.de

UML für eingebettete Systeme

Zielstellung

In der Geschäftssoftwareentwicklung stellt die Unified Modeling Language (UML) eine etablierte Standardnotation dar, die dabei geholfen hat, Komplexitätsprobleme zu bewältigen, mit denen man sich bereits vor Jahrzehnten konfrontiert sah. Die wesentlichen Vorzüge, die die Verwendung von UML - Notationen bietet, bestehen in einer verbesserten Kommunikation von Konzepten und Prozeduren, allgemeinen Vorteilen der Objektorientierung (wie Wiederverwendbarkeit und Modularität durch Vererbung, Polymorphismus und Kapselung) und der Vermeidung von Designfehlern dank der frühen Formalisierung der Spezifikation. Darüber hinaus ermöglicht die Standardisierung der notationellen Syntax und Semantik prinzipiell einen werkzeugübergreifenden Austausch von Modellen.

Erwägt man diese Vorteile und die Eignung der UML zur Modellierung ganzer Systeme, d.h. bestehend aus sowohl Hard- als auch Software, in Anbetracht der wachsenden Komplexität von Kfz - Steuergeräten (ECUs), so ist die Idee, dieselben Techniken in ihrem Design anzuwenden, alles andere als weit her gegriffen. Geeignet durch eine wachsende Vielseitigkeit und Etablierung von UML - basierten Werkzeugen besteht das ultimative Ziel dieses Weges in einer Vereinigung und Standardisierung von Sprachen, Werkzeugen und Methoden, die im Design von sowohl Hard- als auch Software verwendet werden. Aufgrund ihrer charakteristischen Integration von Hardwarekomponenten sind eingebettete Systeme ein geeigneter Kandidat zur Evaluierung und Illustration der Art und Weise, wie UML - Konzepte auf Hardwarekomponenten angewandt werden können, darauf abzielend, letztlich sogar den Weg für eine Anwendung in Hardware-dominierten Gebieten zu bahnen.

Forschungsverlauf

Mit diesem Ziel vor Augen bestehen die Aktivitäten darin, die Anstrengungen der Automobilindustrie zu verfolgen und dabei aktuelle Trends und Tendenzen abzuleiten.

Es wurden verschiedene kommerzielle UML - Tools hinsichtlich ihrer Eignung für das Design eingebetteter Echtzeitsteuerungen evaluiert, deren Ergebnis in einen von DaimlerChrysler organisierten objektorientierten Modellierungswettbewerb [1] eingebracht wurde.

Im Zuge der Teilnahme am Modellierungswettbewerb wurde das Beispiel einer Pkw - Sitzsteuerung bis hin zur Erstellung eines virtuellen Prototypen modelliert (Simulation

mit grafischem Nutzerinterface), mit dem die Korrektheit der Implementation so gründlich wie



Abb. 1: Sitz und Sitz-Kontroll-Einheit

möglich validiert wurde (s. Abb. 1).

Bedingt durch verschiedene Fähigkeiten und Firmenprofile lieferte die Einschätzung der Tauglichkeit der evaluierten Werkzeuge unterschiedliche Ergebnisse. Neben der funktionellen Evaluierung wurde versucht, eine allgemeine Vorgehensweise für die Modellierung eingebetteter Echtzeitsteuerungen mit UML - Mitteln zu ermitteln. Diese beiden Resultate können sich bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich zukünftiger Vorhaben als hilfreich erweisen.

Forschungsstand

Insgesamt konnten die erwarteten wesentlichen Vorteile, die ein UML - basierter Entwicklungsprozess verspricht, bestätigt werden. Zu diesen zählen:

- Abstraktion und Illustration
- durchgängiger Entwurfsprozess
- geschlossenes Systemmodell
- Wiederverwendung
- inhärente Unterstützung von Echtzeitaspekten
- Vermeidung von Designfehlern
- Code - Generierungsfähigkeiten
- Rapid - Prototyping
- potenzielle Interoperation zwischen Werkzeugen
- potenzielle Basis für formale Verifikation

Konkret bedeutet dies, dass verschiedene, teils hierarchisch ineinandergreifende Notationen und die Verwendung des OO - Paradigmas die Abstraktion und Formalisierung der meisten Aspekte eines Systems erlauben. Allgemein ermöglicht die Verfügbarkeit verschiedener Sichten dem Entwickler, sich auf wesentliche Aspekte zu konzentrieren. Weiterhin erleichtern grafische Notationen die Kommunikation mit extra - disziplinären Personengruppen ebenso

wie von Konzepten innerhalb des Design - Teams, wodurch Wartbarkeit und Modifizierbarkeit der Software gefördert werden. Mit ihren effizienten Notationen für die Analyse als auch für die Modellierung eines Systems und die Fähigkeit verfügbarer Tools, Codes zu generieren und Verhaltensdiagramme (s. Abb. 2 und 3) zu animieren, bildet die UML die Basis für einen Entwicklungsprozess, der nahtlos von der Analyse oder Spezifikation zur Implementation und Validierung führt. Hinsichtlich des Echtzeitverhaltens können in allen Notationen Nebenläufigkeiten modelliert werden. Einige Diagrammartentypen unterstützen zeitbezogene Beschränkungen (Constraints) in Form von Anmerkungen.

In Abhängigkeit vom verwendeten Modellierungswerkzeug benötigt der generierte Code ein unterschiedliches Maß an Nacharbeit. Jedoch dezimiert die Fähigkeit, Code aus verhaltensbeschreibenden Diagrammen zu generieren, übliche Fehlerquellen erheblich und beschleunigt damit den Entwurfsprozess. Einige Unzulänglichkeiten sowohl in der UML als auch in existierenden Werkzeugen verhindern gegenwärtig noch ihre rasche Verbreitung:

- keine Formalisierung von Echtzeitbeschränkungen und damit keine Möglichkeit zur formalen Validierung
- (kontinuierliche) Regelungen werden nicht explizit unterstützt
- mangelnde Interoperabilität zwischen verschiedenen Werkzeugen, aufgrund inkompatibler Speicherformate, proprietärer Erweiterungen und abweichender Semantik
- mangelnde Integration von formalen Verifikationswerkzeugen, wie Model - Checkern und RMA - Tools

Weiterhin implizieren heutige Code - Generatoren noch immer Nachteile hinsichtlich der Effizienz der Implementation im Vergleich mit einer manuellen Implementierung auf niedriger Ebene. Mit fortschreitender Entwicklung werden diese Nachteile jedoch bald behoben sein.

Ausblick

Zukünftig geplante Vorhaben sind die weitere Evaluierung von UML - Werkzeugen und die Ableitung von Anforderungen, die an sie gestellt werden sowie die Analyse der Eignung der UML für System - on - Chip - Designs.

Ansprechpartner:

DI Wolfram Kattaneck

Tel.: +49 (36 77) 678355

Email: wolfram.kattaneck@imms.de

Quellangaben:

- [1] DaimlerChrysler. Objektorientierter Echtzeit - Modellierungswettbewerb. <http://www.automotive-uml.de>

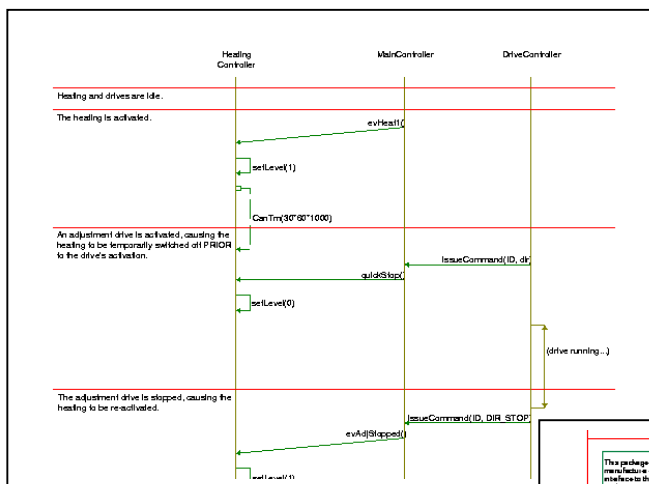


Abb. 2: UML - Sequenz - Diagramm

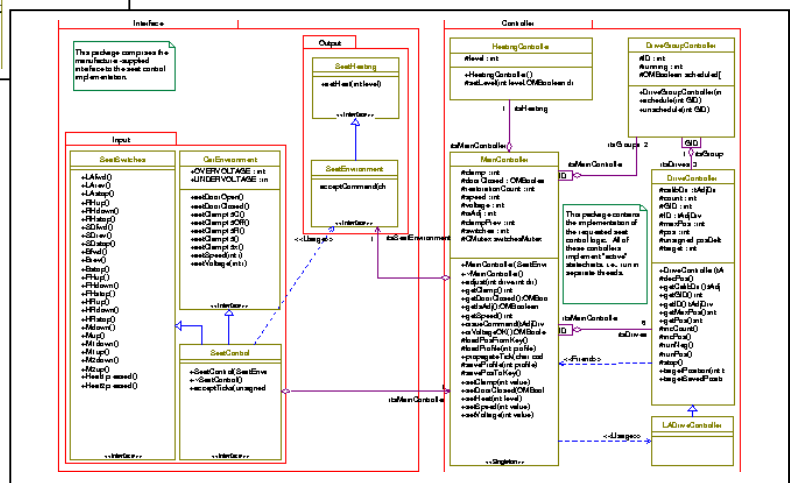


Abb. 3: UML - Objektmodell - Diagramm

"Integrierte universelle Messsignalvorverarbeitung für mechatronische Systeme, basierend auf eingebetteten parametrisierbaren DSP - Kernen"

Zielstellung

Im Präzisionsmaschinenbau werden aufgrund hoher Anforderungen an Kompaktheit, Störsicherheit und Kosteneffizienz heute möglichst sensornahe Messsignalvorverarbeitungssysteme zur Erfassung bestimmter Größen (Position, Bewegung, Oberflächenstruktur, Verformung) eingesetzt. Dabei sollen in der Regel verschiedene Einflüsse (Nichtlinearitäten, Verschmutzung des Messsystems, EMV - Störungen) kompensiert werden. Speziell bei Wegmessungen für Präzisionsantriebe ist eine Erhöhung der Genauigkeit durch Interpolationsverfahren erforderlich. Den wachsenden Genauigkeitsanforderungen wird man mit immer höher interpolierenden Verfahren gerecht. Eine reine Softwareimplementierung der Interpolations- und Kompensationsalgorithmen kommt auf Grund der Geschwindigkeits- bzw. Echtzeitanforderungen selten in Frage. Reine Hardwareimplementierungen sind durch die vielschichtigen Anforderungen unterschiedlichster Applikationen zu unflexibel, um einem universellen Ansatz zu genügen. Im Forschungsprojekt wird neben der Entwicklung einer Entwurfsmethodik für Messsignalvorverarbeitungssysteme für mechatronische Systeme auch eine konkrete Applikation (hoch interpolierende Positionsbestimmung) angestrebt. Als Basis für Produktinnovationen beteiligter KMUs ist ein integrierter Prototyp vorgesehen.

Forschungsverlauf

Es existieren eine Reihe von Programmwerkzeugen, mit deren Hilfe es möglich ist, komplexe Systeme auf abstraktem Level zu entwerfen und zu simulieren. Zur Erforschung der Entwurfsmethodik wurden anfangs verschiedene Systemmodellierungswerkzeuge evaluiert. Als Ergebnis wurde entschieden, MATLAB / SIMULINK (hohes Abstraktionsniveau, C - Code - Generierung, einfaches Refinement, verhältnismässig kostengünstig für KMUs) als Systemdesign - Werkzeug zu verwenden. Im ersten Teilabschnitt des Projekts wurde eine allgemeine Methodik zur Entwicklung, Simulation und Verifikation von digitalen Signalverarbeitungsalgorithmen mit sinusförmigen Eingangsgrößen entwickelt. Sinn der Methode ist es:

- einen Algorithmus abstrakt modellieren zu können

- eine Entscheidung über die Partitionierung von Hard- und Software zu treffen
- eine gemeinsame Testumgebung für Modell, Implementierung und Prototyp zur Verfügung zu stellen

Anhand einer konkreten Applikation (Digitalinterpolator für Wegmesssysteme hoher Auflösung) wurde die entwickelte Methodik auf ihre Eignung untersucht.

Ausgehend von einer formalen Spezifikation (Vorgaben der KMUs, Einsatzgebiete) wurde das Systemmodell erstellt. Das Modell gestattet den flexiblen Einsatz alternativer Kernalgorithmen (Arcustangens-, Trackinginterpolation) und die Wiederverwendung von Einzelmodulen (Parameterbestimmung, Filter, Korrekturtabellen).

Die Implementierung wurde im ersten Schritt als HW / SW - Codesign realisiert. Sie besteht aus einer Vorverarbeitungshardware zur Parameterbestimmung und einer Software für den Interpolationsalgorithmus, welche auf einem

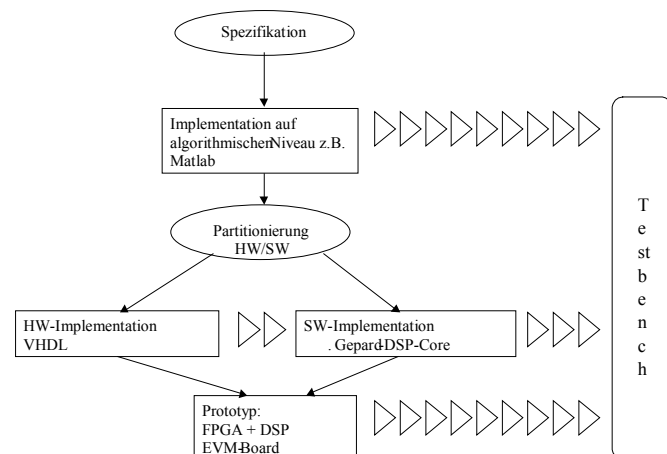


Abb.1: HW - SW - Codesign

eingebetteten DSP (AMS - Gepard) läuft. (Abb. 1)

Darüber hinaus sind zwei weitere Lösungen als reine HW - Lösung und reine SW - Lösung für Standard DSP implementiert worden. Innerhalb einer identischen Testumgebung konnten alle Lösungen verifiziert und bewertet werden (Abb. 2). Es wurde festgestellt, dass die reine Hardwarelösung performanter (die Berechnung eines Positionswertes ist ca. viermal schneller) und kompakter als die beiden anderen Lösungen ist. Letztendlich fiel die Wahl der beteiligten KMUs auf die reine HW - Implementierung für den Demonstratorchip. Die Gründe waren vor allem die fehlende Roadmap und das unklare

Lizenzmodell für den eingebetteten DSP - Kern.

Zur Zeit werden, ausgehend von C++, eine Modellierungssprache und entsprechende

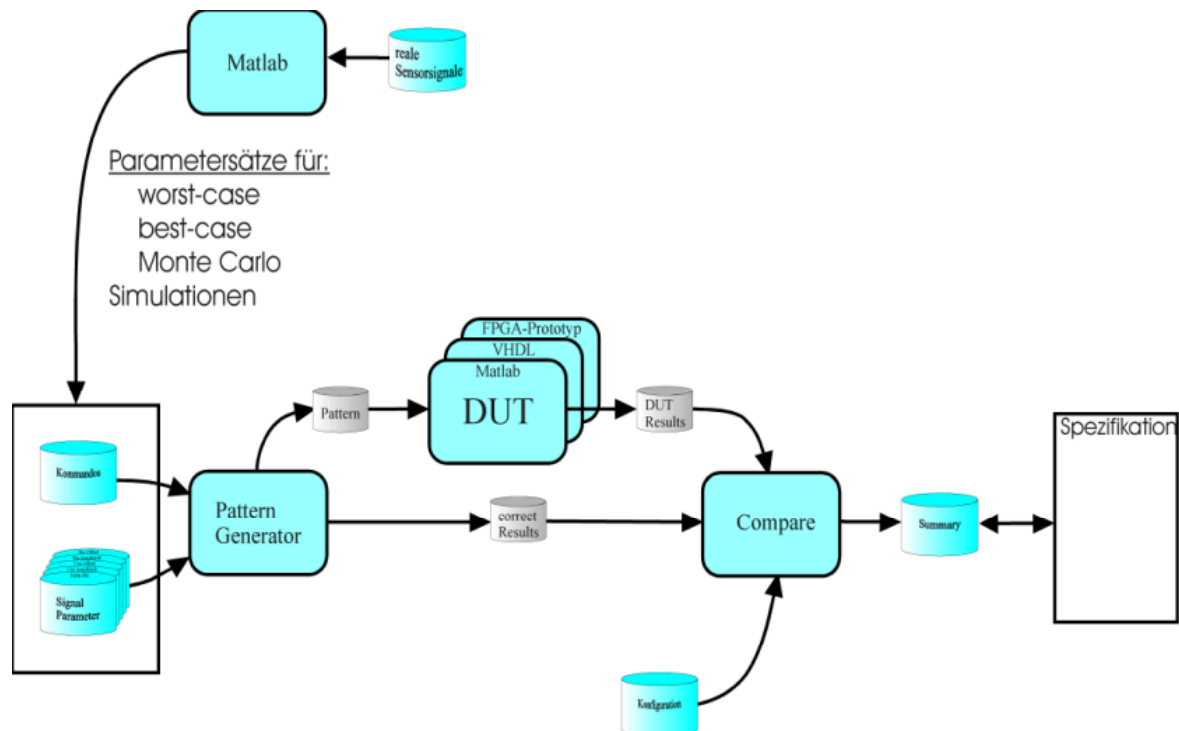


Abb. 2: Testumgebung

DUT=Device under Test

Forschungsstand

Durch einen iterativen Prozess wurde das Systemmodell soweit verbessert, das der Demonstrator - IC bezüglich Genauigkeit, Interpolationsfaktor und Funktionalität den Projektpartnern die Möglichkeit bietet, die Leistungsfähigkeit ihre Produkte zu erhöhen. Innerhalb des gesamten Designprozesses (Simulink, RTL, Gatelevel) wurde die entwickelte Testumgebung zur Verifikation des ASICs verwendet. Der Chip wurde in einer 0.6 µm Technologie der Fa. X-FAB GmbH Erfurt gefertigt.

Die vorgestellte Methodik ist geeignet, um Signalverarbeitungsalgorithmen für digitalisierte, sinusförmige Sensorsignale auf HW / SW - Co - Systeme zu implementieren und zu testen.

Ausblick

Zu Beginn des Projektes gab es keine Systembeschreibungswerkzeuge, die in der Lage gewesen wären, synthesesgerechten VHDL - Code aus dem Modell zu generieren. Deshalb musste (aufwendig per Hand) eine Portierung nach VHDL durchgeführt werden, welche durch die Verwendung von Fixed - Point - Modellen einfacher ist.

Tools entwickelt, die eine durchgehende (ab-

straktes Modell bis zu RTL) Systembeschreibung in C / C++ erlauben. Wenn diese Werkzeuge zum praktischen Einsatz geeignet sind, kann zukünftig die Umsetzung mit Hand vermieden werden.

Weitere Ziele sind die A / D - Umsetzer ebenfalls auf dem Chip zu integrieren, um Kosten und Abmessungen weiter zu verringern. Grundlagen hierfür sind durch das Projekt "Entwurf eines zyklischen A / D - Wandlers für Mixed - Signal - Anwendungen" geschaffen worden (s. Seite 24).

Ausserdem besteht die Möglichkeit, dass hier zur Anwendung kommende inkrementelle Wegmessverfahren mit einem Verfahren zur absoluten Wegmessung (siehe Projekt HAAM, Jahresbericht 1999) in einem System zu kombinieren und somit die Methodik um die Verarbeitung nichtsinusförmiger Eingangssignale zu erweitern.

Ansprechpartner:
DI Jens Zellmann
Tel.: +49 (3677) 678358
Email: jens.zellmann@imms.de

"IEEE 1394 - Softwarebibliothek"

Zielstellung

Bei Herstellern von Systemen und Komponenten für die Automatisierungstechnik ist ein klarer Trend zu erkennen, der darauf abzielt, Sensorik, Steuerungstechnik und Aktorik auf der einen Seite und rechnergestützte Datenverarbeitung auf der anderen Seite miteinander zu vernetzen. Es müssen Lösungen für vernetzte Anwendungen geschaffen werden, die es ermöglichen, grosse Datenmengen, wie sie beispielsweise bei der Bilddatenerfassung in Industrierobotern anfallen, zu verarbeiten. Für derartige Anwendungen eignet sich das IEEE - 1394 - Protokoll für schnelle serielle Busse. IEEE 1394 ist aus heutiger Sicht eine ideale Lösung für multimediale Anwendungen und bildverarbeitende Industriesysteme. Von besonderem Interesse sind Anwendungen aus der industriellen Automation, aus der Instrumentierungs- und Messtechnik und aus anderen Bereichen, in denen insbesondere bildgebende und bildverarbeitende Prozesse schnelle Übertragungsmedien erfordern.

Forschungsverlauf und -stand

Das IMMS Ilmenau erarbeitete sich in den letzten zwei Jahren 1394 - Entwicklungs - Know - How, Hard- und Softwarebausteine für IEEE 1394 - Lösungen sowie Leistungen zur Verifikation der IEEE 1394 - 1995 / IEEE 1394a - Kompatibilität von Chip- und Boardlösungen. Ausgehend von den gesammelten Erfahrungen wurde in Zusammenarbeit mit der Emsys GmbH Ilmenau eine 1394 Library für den LinkLayer Chip TSB12LV01 entwickelt. Getestet wurde die Library mit einem embedded Knoten, bestehend aus dem LinkLayer TSB12LV03, dem Physical Layer TSB41LV01 sowie einem digitalen Signalprozessor ADSP21065L. Die Bibliothek weist folgende Features auf:

- komfortable Bedienung des 1394 - Busses durch einfache C - Funktionsaufrufe
- leichte Portierung auf andere Prozessorsysteme
- volle 1394 Funktionalität wird unterstützt
- asynchrone und isochrone Datenübertragung
- der virtuelle 1394 Adressbereich ist vom Anwender definierbar
- eigenständiges Event - Response Handling
- vom Anwender einstellbare (skalierbare) FIFO - Tiefe des Linklayercontrollers für eine optimale Anpassung an die Applikation

- Busmasterfähig, d.h. unterstützt vollen Funktionsumfang des isochronen Resourcemanagements
- Cyclemasterfähig
- Verwaltung von Topologie- und Speedmapinformationen

Die Library beherrscht die Behandlung aller 1394 - Buszustände und bearbeitet ankommende Requests automatisch ohne Intervention der User - Applikation. Die Applikation wird lediglich über bestimmte Zustände der Firmwarelibrary informiert. Art und Umfang der Benachrichtigung kann von der Applikation selbst bestimmt werden. Das Versenden von Daten über den 1394 - Bus erfolgt einfach durch Übergabe der Zielknotennummer und einen Pointer auf die zu versendenden Daten. Die Bedienung des 1394 - Interfaces durch das Applikationsprogramm erfolgt komfortabel durch wenige Funktionsaufrufe mit Parameterübergabe (z.B. FW1394_init(), FW1394_write(..), FW1394_read(..), etc.). Diese 1394 - spezifischen Funktionen sind in einer Headerdatei deklariert, die das eigentliche Softwareinterface zwischen Applikation und Firmwarelibrary darstellt.

Die Firmwarelibrary unterstützt isochrone und asynchrone Datenübertragung. Die Verwendung dieser Library erspart dem Applikationsprogrammierer eine zeit- und kostenintensive Einarbeitung in den IEEE1394 - Standard.

Um eine möglichst hardwareunabhängige Lösung zu schaffen, wurde die Library in zwei Schichten (Layer) aufgeteilt (siehe Abb.1):

- *transaction layer*:
Der Transaction Layer verarbeitet alle empfangenen und zu sendenden 1394 Datenpakete und behandelt selbstständig alle möglichen Ereignisse (Events, Requests). Weiterhin ist dieser Layer für das isochrone Resource - Management zuständig, d.h. die Verwaltung isochroner Ressourcen läuft vollautomatisch ohne Einflussnahme der User - Applikation ab.
Der Transaction Layer ist vollständig hardwareunabhängig.
- *hardware abstraction layer (HAL)*:
Der HAL konvertiert die Daten, die der Transaction Layer in einem abstrakten Format liefert, in ein hardwarespezifisches Format. Ebenso liefert der HAL die vom Link Layer Controller (LLC)

empfangenen 1394 - Pakete in einem dem Transaction Layer bekannten Format. Dazu stellt er dem Transaction Layer eine Reihe Funktionen zur Verfügung, welche das Senden und Empfangen von 1394 - Paketen direkt von der entsprechenden Hardware erlauben. Die Übergabe der abstrakten Daten erfolgt über generische Datenstrukturen. Weiterhin wird der Transaction Layer vom HAL über aufgetretene Fehlerzustände auf dem Bus informiert. Der HAL ist hardwareabhängig und muss für jeden Link Layer Controller (LLC) bzw. Physical Layer Controller (PHY) neu angepasst werden. In der momentan vorliegenden Version arbeitet der HAL mit den Bausteinen TSB12LV01 (LLC) und TSB41LV03 (PHY) von Texas Instruments zusammen.

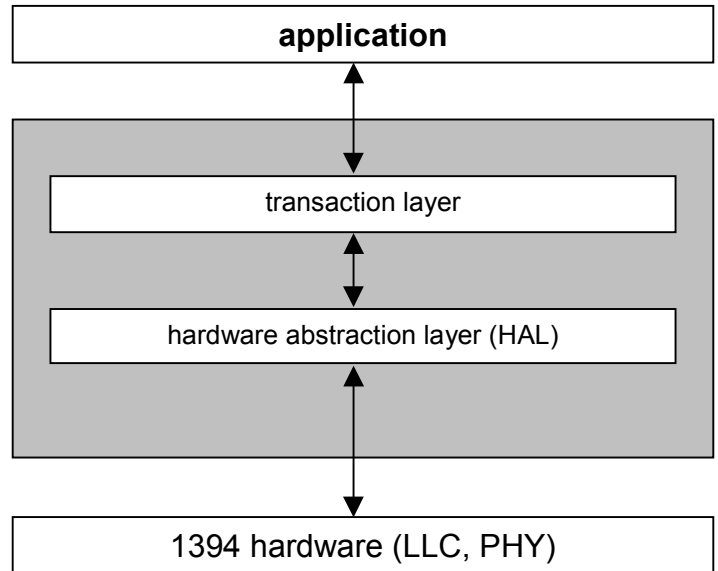


Abb. 1: Schichtmodell der Firmware - Library

Ausblick

Derzeit erfolgt eine Portierung der Library auf andere Hardwareplattformen. Dafür wird eine Hardware entwickelt, welche folgende Kernbausteine enthält:

- DSP: TMS320C5402
- LLC: TSB12LV32
- PHY: TSB41LV03

Durch den Einsatz des neuen Link Layer Controllers muss speziell eine Anpassung des HAL an den TSB12LV32 erfolgen. Dieser LLC besitzt eine Reihe neuer Funktionen und Eigenschaften (z.B. DataMover - Port). Um diese erweiterten Funktionen des LLC nutzen zu können, wird eine Erweiterung des Transaction Layers erforderlich.

Parallel dazu entsteht eine weitere Hardware auf Basis eines SAB - C165. Für diese Hardware wird die Firmwarelibrary ebenfalls angepasst und getestet.

Ansprechpartner:

DI Marco Kümmerling

Tel.: +49 (3677) 678331

Email: marco.kuemmerling@imms.de

Themenbereich "Schaltungstechnik / Mikroelektronik"

Das IMMS hat das Ziel sich, mit seinen schaltkreisorientierten Forschungen Kompetenzen auf Gebieten zu entwickeln, für die ein besonders großer Marktanstieg in den nächsten Jahren erwartet werden kann. Damit sollen innovative Anwendungen der Mikroelektronik bei kleinen und mittelständischen Unternehmen unterstützt und der Aufbau einer wissensintensiven Infrastruktur in Thüringen befördert werden. Als besonders wachstumsintensive Marktsegmente werden durch unsere Forschungsarbeiten unterstützt:

- Funkgestützte (wireless) Datenübertragungen für Steuerungszwecke, Datenabfrage, Automatisierung, Sicherheitssysteme (siehe LON-Funkbrücke mit Einsatz in der Gebäudeautomatisierung)
- Optoelektronik für Datenaufzeichnung, Messaufgaben, Datenübertragung, Justage
- Hochtemperaturelektronik im Fahrzeug- und Maschinenbau (Anwendungstemperatur bis 250 °C)
- Flexible komplexe mixed - signal Systeme mit erweitertem Funktionsumfang und syntheseorientiertem Systementwurf unter Verwendung von DSP - Kernen
- Erweiterung der Einsatzgrenzen von CMOS- und BiCMOS - Technologien für analoge Präzisionsschaltungen um größere Bandbreiten und Geschwindigkeiten sowie Verbesserungen der Empfindlichkeit zu erzielen.

Im Jahre 2000 wurde die Kompetenz im mikroelektronischen Schaltungsentwurf mit folgenden Schwerpunkten ausgebaut:

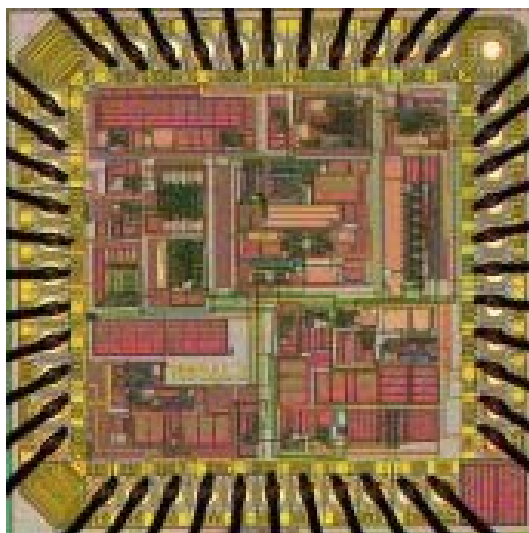
- HF - Design bis 1 GHz auf der Grundlage von 0.6 μm - BiCMOS - Technologien
- Aufbau von grundlegendem Know - How für den Entwurf von ADCs am Beispiel eines zyklischen A/D - Wandlers

- Designgrundlagen und Designsupport für die Anwendung der SOI - Technologie für mixed - signal - Schaltungen und Hochtemperatur - Schaltungen
- Sensorelektronik am Beispiel monolithisch integrierter optischer Sensoren (Fotodioden in CMOS- und BiCMOS - Technologien), magnetischer Sensoren (Hall - Elemente), Drucksensoren in Hybridbauten
- Systemdesignmethodik für integrierte mixed - signal - Systeme auf der Basis von ADCs und digitaler Signalprozessoren
- Optoelektronische Schaltungen für DVD - Leseeinheiten und optische Messsysteme

Die durchgeführten Forschungen sind darauf gerichtet, der Industrie sowohl die Entwicklung anspruchsvoller Systeme, Baublöcke und innovativer Komponenten als auch Trainings- und Schulungsangebote für neue Wissensgebiete anzubieten (Workshops, DFAM -Arbeitskreis, Vorträge auf Fachtagungen und Konferenzen, F&E - Report).

Im Jahre 2000 ist es uns gelungen, durch interessante Möglichkeiten für die fachliche Qualifizierung und Profilierung für Mitarbeiter den Themenbereich Schaltkreisentwurf personell zu erweitern und leistungsfähige, junge Wissenschaftler für die Forschung auf diesem Gebiet zu begeistern. Das IMMS schafft damit wichtige Grundlagen für den kontinuierlichen Ausbau der technischen Innovation und der industriellen Leistungsfähigkeit.

Ansprechpartner:
Prof. Dr. Franz Rößler
Tel.: +49 (361) 4276639
Email: franz.roessler@imms.de



"Designmethodik für Low - Power - Kommunikationsschaltkreise in fortgeschrittenen IC - Technologien"

Zielstellung

Während der Projektarbeit wurde der vollständige Entwurfsweg ausgehend von der Systemspezifikation bis hin zum entworfenen und in der Applikation eingesetzten HF - IC durchlaufen. Dies schliesst ebenso die Etablierung eines effizienten Entwurfs - Flows für integrierte Hochfrequenz - Schaltkreise, sowie die Entwicklung von Evaluation - Boards und den Aufbau einer geeigneten Messumgebung ein.

Das Projekt wurde in diesem Jahr erfolgreich abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden auf einem Workshop „Datenübertragung im 868 - MHz - Band“ im Dezember 2000 in Erfurt vorgestellt.

Forschungsverlauf und -stand

Wichtigstes Ergebnis der diesjährigen Arbeiten war die erfolgreiche Inbetriebnahme des 868 - MHz Empfängers. Der Empfänger wurde in der 0.6 µm BiCMOS Technologie des Projektpartners X-FAB GmbH Erfurt prozessiert. Die in der Spezifikationsphase avisierten IC - Parameter, konnten schon im ersten Design - Zyklus vollständig erreicht werden, was für den Erfolg der Design- und Simulationsmethoden spricht.

Zwei verschiedene Aufbauvarianten des Doppel - Superhetempfängers sind untersucht worden. Für den Funktionsnachweis sowie für parametrische Messungen am Gesamtempfänger und an Einzelbaugruppen wurde der Empfänger in einem SSOP44 Gehäuse aufgebaut. Die wichtigsten technischen Daten und Messergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Auf einem zweiten Evaluation - Board ist der Empfänger mit einem Circuit - On - Board -

Verfahren (COB) direkt auf dem Leiterplattenmaterial gebondet worden. Die Vorteile des Verfahrens, wie:

- direkter elektrischer Kontakt des Chipsubstrates zum Massepotential des Boards (geringere Verkopplungen auf dem Chip)
- kürzere Bonddrähte
- hohe Packungsdichte

sprechen für sich. Teilbestückte Evaluation - Boards mit SMD- bzw. COB - Layout sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Die Abmessungen der beiden Boards sind identisch 55 mm x 55 mm. Auf dem COB - Board ist der gebondete, noch nicht vergossene Chip zu sehen, dessen Flächenbedarf bei nur 4,8 mm x 4,8 mm liegt. Damit werden nur ca. 20% der Fläche im Vergleich zum 44 - poligen SMD - Gehäuse auf der Platine vom IC belegt.

Die hohe Flexibilität des Entwurfes zeigt sich zudem in den verschiedenen Bondmöglichkeiten des Empfängerchips. Der Standardaufbau in einem 44 poligen Gehäuse ermöglicht diverse Test- und Mess - Modi und lässt sich sowohl als Doppel - Super als auch als Einfach - Super beschalten. Damit kann der Anwender den Aufwand an externen Bauelementen und die erreichbaren technischen Daten passend für jeden Einsatzfall selbst bestimmen. Ausserdem lässt sich der Empfänger in einem 32 poligen SMD - Gehäuse nur als Doppel - Super Variante für Low - Cost Anwendungen unterbringen.

Eine ebenso grosse Sorgfalt, wie sie bei der Partitionierung und der Verdrahtung der Einzelbaugruppen des Empfängerchips notwendig war, erforderte der Entwurf des Bordlayouts. Performance - Einbußen oder Schwingneigungen resultieren oft aus Layoutfehlern auf dem Chip oder dem Board. Ein Übersprechen zwischen sensitiven Signalwegen, unnötige Parasitics an HF - Ein- und Ausgängen sowie Störungen auf Betriebsspannungs- und Masse - Leitungen können durch überlegte Layoutgestaltung vermieden werden. Die notwendige Evaluierungszeit kann damit deutlich reduziert und zudem unnötige Redesigns vermieden werden. Beispielhaft für die Einsatzmöglichkeiten der HF -

Parameter	Condition	Min	Max	Unit
Power Supply Voltage		2.5	5.5	V
Operating Temperature		-40	+85	°C
Operating Current	low gain mode		7.6	mA
	high gain mode		9.3	mA
Standby Current			100	nA
Input Frequency		800	950	MHz
Sensitivity	26 kHz 2 nd IF filter BW BER=3*10 ⁻³ , ±8kHz FSK dev		-110	dBm
Maximum Input Level			0	dBm
Image Rejection	with SAW front-end filter and at 21,4 MHz 2 nd IF		65	dB
RSSI-Range			70	dB
AFC-Range			±200	kHz
Data Rate	NRZ at FSK		80	kbit/s

Tab. 1: Zusammenfassung der wichtigsten Empfänger - Messdaten

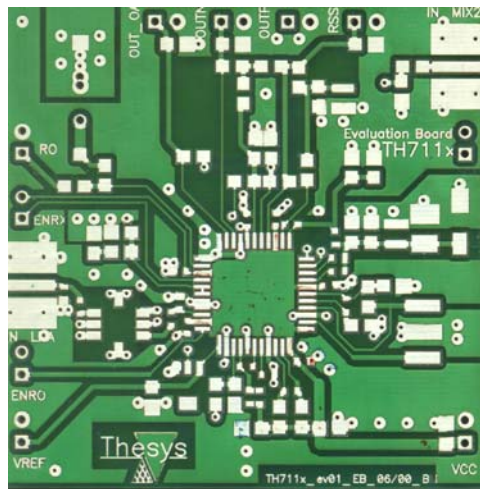


Abb. 1: Layout des SMD - Evaluation - Boards

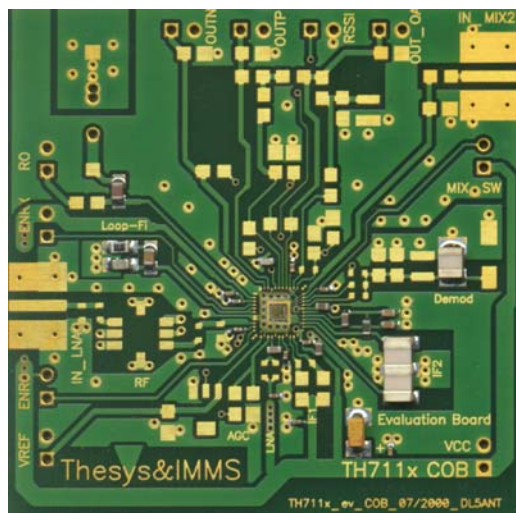


Abb. 2: Layout des COB - Evaluation - Boards

Schaltkreise im lizenzfreien Funkband bei 868 MHz wurde im Rahmen der Projektarbeit ein Funkmodul für die Erweiterung des drahtgebundenen LON - Hausbus - Systems entworfen.

Der Empfänger und der zugehörige Sender, einschliesslich der zusätzlich notwendigen analogen und digitalen Signalaufbereitung zur Anpassung der Schnittstelle vom HF Front End zum LON - Controller, sind in Abbildung 3 als funktionelle Einheit zu sehen. Das Modul ist mit einer Schnittstelle versehen, die direkt von einem LON - Controller angesteuert werden kann. Die Datenübertragung per Funk erfolgt dabei mit einer Datenrate von 78 kBit/s. Das Funkmodul ist derzeit in einer mit LON Gebäudeautomation ausgestatteten Sporthalle in der praktischen Erprobung. Dabei werden Entfernungen von 400 m zwischen den funkgestützten LON - Knoten überbrückt.

Ausblick

Zukünftige Arbeiten werden sich auf die Performancesteigerung der HF - ICs konzentrieren. Ein wichtiges Ziel ist die weitere, deutliche Senkung der Leistungsaufnahme ohne wesentliche Einschränkungen der bislang erzielten Schaltungsparameter.

Die weitere Vervollkommnung des Entwurfsflows von der Spezifikationserstellung für HF - Systeme bis hin zum Entwurf der Systeme auf IC- und Board - Ebene einschliesslich deren Test ist weiterhin ein Kernpunkt der Arbeit am IMMS. Damit wollen wir unser Ziel erreichen, den Anwendern nicht nur einfache Funkmodule bereitzustellen, sondern sie vielmehr bei der Entwicklung komplexer Funksysteme unterstützen, die eine transparente Datenübertragung ermöglichen.

Ansprechpartner:

DI Matthias Lange

Tel.: +49 (361) 4276601

Email: matthias.lange@imms.de

DI Björn Bieske

Tel: +49 (3677) 678317

Email: bjoern.bieske@imms.de

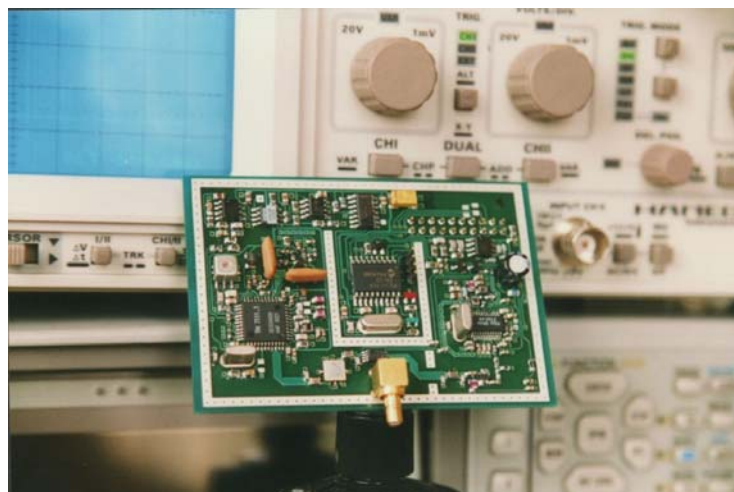


Abb. 3: LON - Funktransceiver als Demonstrator

"Entwurf eines zyklischen A / D - Wandlers für Mixed - Signal Anwendungen"

Zielstellung

Im Mai 1999 haben im IMMS die Forschungsarbeiten im Rahmen des TMWFK - Verbundprojektes *"Entwicklung von A/D - Wandlern für die Anwendung in Digitalen Signalverarbeitungssystemen unter Berücksichtigung neuester Technologien, Techniken und Anforderungen"* begonnen, deren Ziel integrierte Analog - Digital - Umsetzer - Blöcke (ADU) sind, die gemeinsam mit Sensoren (Kapazitäts - / Drucksensoren) sowie mit digitaler Signalverarbeitung (DSP) auf einem Chip integriert werden können.

Forschungsverlauf und -stand

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde als Erstes mit dem Entwurf eines flächenkompakten (1 bis 2 mm²) ADU mittlerer Durchsatzraten (100 kS/s) und einer moderaten Auflösung (12 bis 14 Bit) begonnen. Diese Zielstellung lässt sich wirtschaftlich mit ADU nach dem Wägeverfahren realisieren, zu denen die verbreiteten Wandler nach Verfahren der Sukzessiven Approximation (SAR-Wandler) sowie zyklische (algorithmische) Wandler gehören.

Wandlungsverfahren

Die grundsätzliche Entscheidung fiel auf ein zyklisches Verfahren, da bei ADU nach dem SAR - Verfahren die Architektur stark von der angestrebten Auflösung abhängt und die Chipfläche mit dieser ansteigt. Ab Auflösungen von 12 Bit kann auf die Anwendung digitaler Kalibrierungsverfahren für den genauigkeitsbestimmenden Digital - Analog - Umsetzer (DAU) im SAR - Wandler meist nicht mehr verzichtet werden.

Bei zyklischen Wandlern kann einfach die Zahl der Umlaufzyklen erhöht werden, vorausgesetzt die funktionsbestimmenden Operationen bzw. die dafür notwendigen analogen Baublöcke haben die erforderliche Genauigkeit.

Die entscheidende Anforderung besteht in der Realisierung einer exakten Multiplikation mit dem Faktor zwei, genauer gesagt, muss die "Loopgain" (Schleifenverstärkung über zweifach - Multiplikator und die Sample & Hold - Schaltung) diesen Wert exakt einhalten.

AHDL - Simulation

Durch Simulation auf algorithmischer Ebene mit Hilfe einer analogen Hardware Beschreibungssprache (AHDL) sollten die weiteren Entscheidungsgrundlagen gefunden werden. Dabei wurde die in der Cadence - Entwurfsumgebung integrierte "Spectre - HDL" eingesetzt. Grundsätzlich stehen zwei zyklische Algorithmen für den ADU zur Auswahl:

- das Verfahren nach dem "Conventional Restoring Division Algorithmus" (CR) und
- der "Redundant Signed Digit Algorithmus" (RSD)

Für beide Verfahren wurde eine Fehlersimulation auf algorithmischer Ebene über die möglichen Fehlerklassen durchgeführt:

- Schleifenverstärkungsfehler (Loopgain Error)
- Comparator - Offset
- Schleifen - Offset (Loop Offset)
- Fehler bei der Referenz - Spannungs - Subtraktion (Reference Error)

Als wesentlichstes Ergebnis ergab sich, dass beim RSD - Algorithmus (ausser einem extern korrigierbaren Offset- und Gainerror über die gesamte Kennlinie) nur die Schleifenverstärkung einen nicht mehr korrigierbaren Linearitätsfehler verursacht, der jedoch nur ca. 50 % des Fehlers beim CR - Algorithmus beträgt und ausserdem für den Anfang und das Ende des Wandlungsbereiches konzentriert ist.

Der Aufwand für zwei unkritische

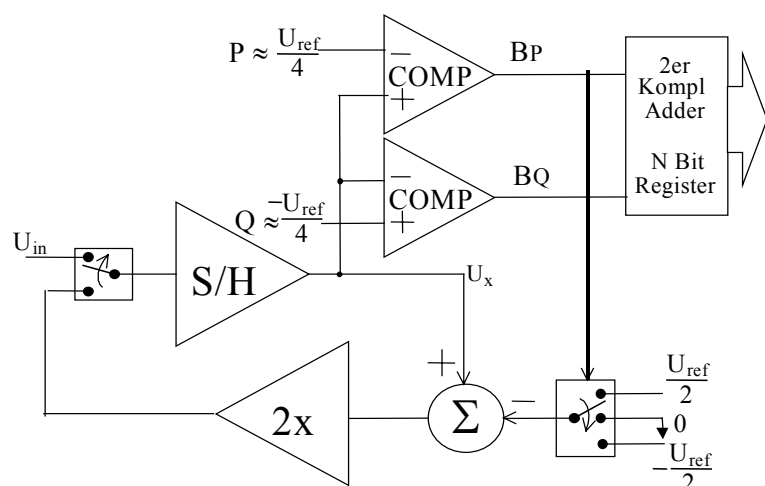


Abb. 1: Blockschaltbild des zyklischen RSD A / D - Wandler

Komparatoren für den RSD - Algorithmus ist geringer als der Aufwand für einen Komparator mit sehr hohen Genauigkeitsanforderungen, wie er für den CR - Algorithmus benötigt wird.

Schaltungsrealisierung

Realisiert wurde der RSD - Algorithmus in Switched - Capacitor - (SC) Technik mit Fully - Differential - Operationsverstärkern. Die SC - Technik bietet die Möglichkeit, im analogen Bereich sehr genaue Rechenoperationen durchzuführen. International wurde bereits eine vielfältige Anzahl von SC - Prinzipien zur Realisierung von zyklischen A/D - Wandlern vorgestellt, wobei das Hauptproblem immer die Realisierung der exakten Loopgain von zwei darstellt.

Bei der Entwicklung des SC - Schaltungsprinzips zur Realisierung des RSD - Algorithmus wurde wiederum die "Spectre - HDL" eingesetzt. Damit war es möglich, verschiedene SC - Systementwürfe schnell auf ihre prinzipielle Wirksamkeit und Fehlertoleranz zu überprüfen.

Es wurde eine Art Baukasten von AHDL - Modellen geschaffen, der etwa der Modellierungsgenauigkeit des Programmsystems SWITCAP (Columbia University) entspricht.

Schritt- sowie wechselweise wurden reale Transistormodelle (Spice) für die MOS - Schalter und Operationsverstärker (OPV) eingesetzt, um alle Fehlerquellen genau einzugrenzen und der Entwurfsebene zuordnen zu können, in der sie auch entstehen.

Dabei wurden die wesentlichen bekannten **Fehlerquellen der SC - Technik** in der Simulation untersucht:

- (1) Kapazitäts-"Mismatch"
- (2) "Finite - Gain" des OPV
- (3) "Charge Injection" in MOS - Schaltern
- (4) Übersprechen des Taktes an MOS - Schaltern
- (5) "Miller - Kapazität" des OPV

Für die Minimierung dieser Fehler wurden verschiedene Gegenmaßnahmen bzw. Schaltungstechniken eingesetzt:

- zu (1) Kapazitätsunabhängiges Prinzip der Multiplikation mit dem Faktor 2 (bzw. 1)
- zu (2) „Gainerror“ - Messung und - Korrektur durch Spannungs- bzw. Ladungsaddition, sowie hohe Verstärkung des OPV (>100 dB)
- zu (3) Einsatz von „Dummy - Switches“ und "Bottom - Plate - Sampling" soweit möglich
- zu (4) "Clock - Feedthrough" wird durch die Fully - Differential - OPV - Technik kompensiert, wenn exakt symmetrisches Layoutdesign eingehalten wird

- zu (5) kleine Eingangstransistoren des OPV → hohe Verstärkung durch zweistufige OPV.

Chipentwurf Prototyp

Für den ersten Prototyp wurde ein Drei - Takt - Phasen - Verfahren gewählt, in dem die oben genannten Techniken angewendet wurden. Es wurde ein zweistufiger Folded - Cascode OPV mit einer Openloop - Verstärkung von 103 dB und 68 MHz Bandbreite entwickelt.

Für die Bildung des binären parallelen Ausgangswortes aus den redundanten seriellen Ausgängen der beiden Komparatoren wurde ein seriell arbeitender "Accumulator" mit geringem digitalen Aufwand entworfen. Der ADU - Chip wurde in 0.6 μm CMOS - Technologie realisiert. Das Core - Layout hat eine Fläche von ca. 1,3 mm².

Ansprechpartner:

DI Richard Ižák

DI Reinhard Kindt

Tel. +49 (361) 41740027

Email: richard.izak@imms.de

Email: reinhard.kindt@erfurt.imms.de

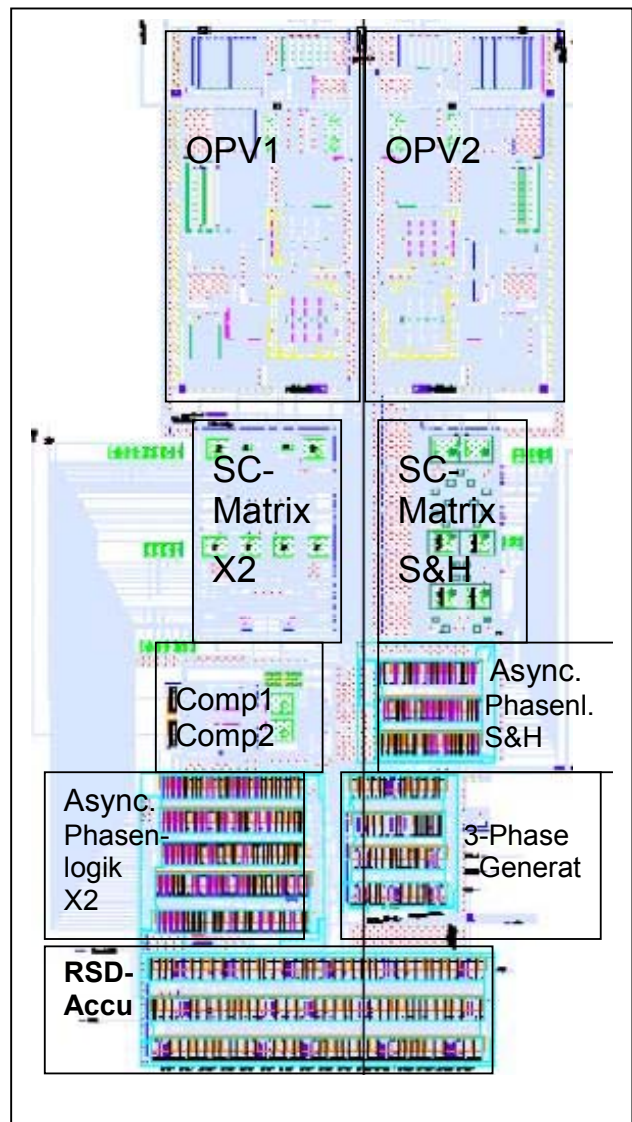


Abb. 2: Core - Layout des ADU - Entwurfs

Verhaltensbasierte Modellierung von Schaltungen mittels SABER

Zielstellung

Einer der Arbeitsbereiche der Abteilung Schaltungs- und Messtechnik ist die Simulation gemischt analog - digitaler Schaltungen und die Erstellung von verhaltensbasierten Modellen. Diese sollen zur Verbesserung der Simulationszeiten und zur Simulation des Gesamtverhaltens von Schaltung und Umgebung (elektrische, mechanische, thermische etc.) benutzt werden. Ein für diese Zwecke besonders geeigneter und in der Industrie weit verbreiteter Simulator steht mit SABER zur Verfügung. 1999 beginnend wurde innerhalb eines Projektes zur Umsetzung von Schaltungen aus dem CADENCE - Entwurfsumfeld ein entsprechender Arbeitsverlauf für das Institut erarbeitet, um ihn für künftige Arbeiten und für die studentische Ausbildung anwenden zu können.

Forschungsverlauf und -stand

Die Darstellung erfolgt an Hand eines Treiberschaltkreises, der im Rahmen eines Praktikumsversuches bearbeitet werden soll. Ein Treibertransistor soll über die Auswertung eines seriellen Signals geschaltet und mit integrierten Schutzfunktionen (Übertemperatur, Überstrom) versehen werden. Die Schutzfunktionen führen zur Abschaltung bei gleichzeitiger Fehlermeldung über ein serielles Signal.

Die Schaltung wurde in CADENCE entworfen und mittels SPECTRE simuliert. Die Verifikation der Simulation erfolgte an Hand eines Modells. Die Umwandlung in ein SABER - Modell erfolgte nach der Partitionierung in Analog- und Digitalteil in zwei Stufen: 1. komplette Implementierung der Netzliste und 2. verhaltensbasierte Modellierung von Digital- und Analogteil. Die erste Stufe wurde als Umsetzung einer ins CDL - Format exportierten CADENCE -

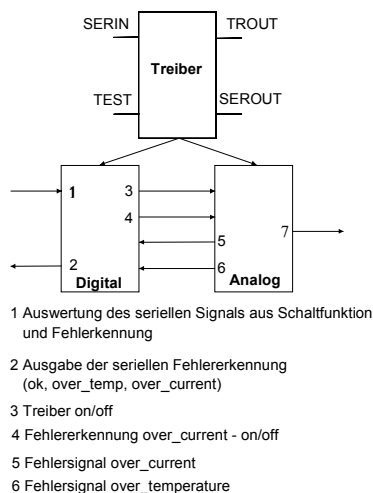


Abb. 1: Schema der Treiberschaltung

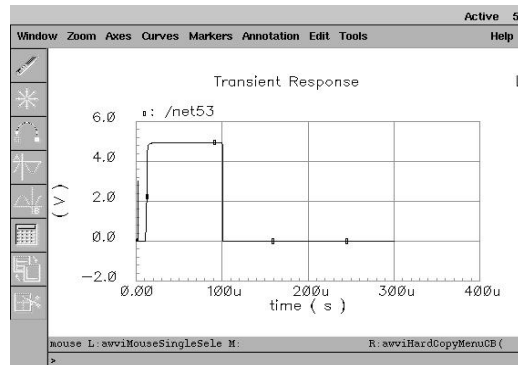


Abb. 2: Schaltsimulation mit SPECTRE

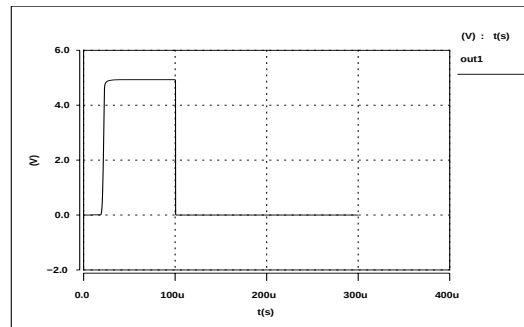


Abb. 3: Schaltsimulation der Funktionalbeschreibung mit SABER

Netzliste in MAST mit Hilfe von AWK - Skripten realisiert. Die Simulation erfolgte unter Verwendung angepasster BSIM3 - Modelle eines Halbleiterherstellers. Der Vergleich der Rechnungen ergab eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse, bei großem Rechenzeitbedarf.

Für die Realisierung der zweiten Stufe wurde zunächst die VERILOG - Quelle des Digitalteils mittels AWK nach MAST konvertiert. Der Analogteil wurde in einzelne Funktionalblöcke geteilt und einzeln auf Basis Netzliste simuliert. Die Ergebnisse wurden für die jeweils relevanten Abhängigkeiten in ein Tabellenformat überführt und im Programm MATLAB zur Erstellung von Beschreibungsgleichungen eingesetzt. Die Konversion, sowie die Erstellung eines Template - Vorschlages für die Einbindung in SABER erfolgten über ein TCL - Skript. Die Beurteilung relevanter Abhängigkeiten sowie die funktionale Beschreibung einfacher oder nicht stetiger Zusammenhänge erfolgte manuell. Bei guter Ergebnisübereinstimmung verringerte sich der Rechenzeitbedarf erheblich. Die Verfahrensweise zur Erstellung eines Behaviour - Modells zur Verwendung unter SABER soll nach ihrer weiteren Verifizierung im IMMS zur Projektbearbeitung und in der Ausbildung eingesetzt werden.

Ansprechpartner:

DI Knut Hübner

Tel: +49 (3677) 678322

Email: knut.huebner@imms.de

Entwurfsmethodik für Mixed-Signal ASICs

Zielstellung

Im Forschungsprojekt "DSP - mixed - signal - ASICs" wird eine Entwurfsmethodik entwickelt, die den Entwurf von Hardware - Software-systemen mit analogen und programmierbaren digitalen Komponenten unterstützt. Die Methodik soll besonders für kleine und mittelständische Unternehmen geeignet sein. Das *Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS)* und das *IMMS* sind die Forschungspartner im Projekt, das von einem Arbeitskreis mit Vertretern der mittelständischen Maschinenbauindustrie begleitet wird.

Im Projekt werden folgende Aufgaben gelöst:

- Entwicklung einer Entwurfsmethodik für ASICs, bestehend aus digitalen Signalprozessoren (DSP) und A/D - Wandlern
- Anpassung von Hardwaremakros (IP - Core) für A/D - Wandler und DSP in einer mixed - signal Technologie
- Entwurf und Fertigung eines Demonstrator ASICs

Forschungsverlauf

DSP werden derzeit, insbesondere in der Telekommunikation, zur schnellen Verarbeitung großer Datenmengen in komplexen Digitalsystemen eingesetzt. Mit der stürmischen Entwicklung der Halbleitertechnologie werden DSP für den Einsatz in mixed - signal ASICs in der Steuerungs- und Regeltechnik sowie der Automobilindustrie interessant. Neben den bekannten Vorteilen digitaler Systeme gegenüber analogen, wie Stabilität und Integrierbarkeit, ergeben sich neue Einsatzgebiete durch die Programmierbarkeit der DSP:

- Flexibilität: DSP basierte Systeme können durch Änderungen der Software sehr schnell an neue Einsatzgebiete angepasst werden
- Rekonfigurierbarkeit: Bereits im Einsatz befindliche DSP - Systeme können durch Software - Upgrades auf veränderte Umgebungsbedingungen eingestellt werden

- Intelligente Algorithmen: Software ermöglicht völlig neue Lösungsverfahren, beispielsweise Selbstlernen oder Mustererkennung, zu integrieren

In einer Motorregelung werden die Signale von Winkel-, Spannungs- und Stromsensoren durch einen DSP kalibriert, linearisiert und gefiltert (Abb. 1). Durch den Einsatz eines DSP können die Algorithmen an eine Vielzahl von Sensoren und Motortypen angepasst werden, ohne einen neuen ASIC entwerfen zu müssen.

Der Einsatz von DSP in mixed - signal ASICs stellt eine qualitativ neue Herausforderung an die Entwurfsmethodik dar. Der traditionelle Weg der Beschreibung der digitalen und analogen Elemente auf RTL- und Bauelemente-Ebene ist für komplexe Systeme mit Hard- und Softwarekomponenten aufgrund der langen Simulationszeiten ungeeignet.

Für die DSP - gestützte Verarbeitung von analogen Signalen, wie sie z.B. bei der Sensorsignalverarbeitung zu finden ist, bietet sich eine Modellierung auf Signalfussebene als Alternative zu herkömmlichen Modellierungsmethoden an.

Sprachen und Modelle

Simulink hat sich aufgrund seiner Vielseitigkeit auch für die Modellierung der nichtelektrischen Umgebung der Signalverarbeitungsstrecke durchgesetzt. Auf einfache Weise können nicht nur die Signalverarbeitungsalgorithmen, sondern auch Rückkopplungen über mechanische oder optische Strecken in einer umfassenden Systemsimulation untersucht werden. Für den Entwurf von mixed - signal ASICs ist es notwendig, *Simulink* - Modelle effektiv auf Hard- und Software zu verteilen. Während für kontrollfluss - orientierte Algorithmen die automatische Codegenerierung beherrscht wird, fehlen entsprechende Werkzeuge für datenfluss - orientierte Algorithmen, die in der Signalverarbeitung vorherrschen.

Codegeneratoren

DSP zeichnen sich durch eine Architektur aus,

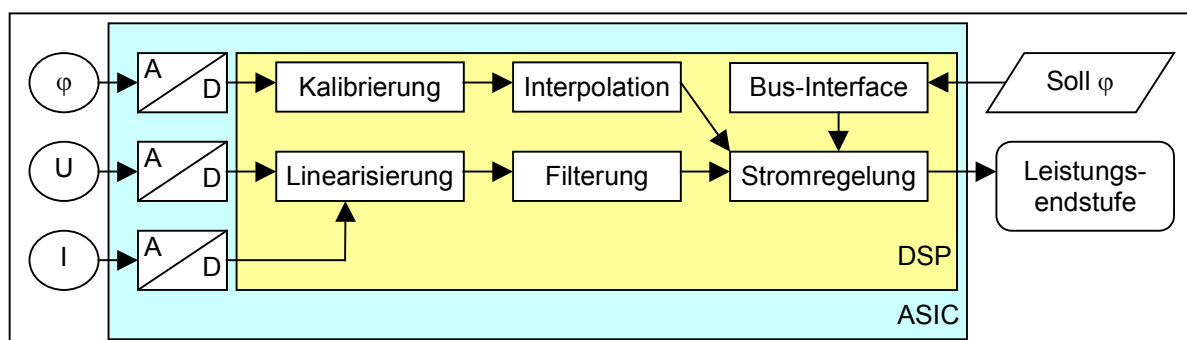


Abb. 1: Motorregelung

die auf typische Operationen der Signalverarbeitung optimiert ist, jedoch hohe Anforderungen an die Compiler stellt. Im Projekt wird deshalb ein Codegenerator entwickelt, der DSP - spezifische Befehle und Speicherarchitekturen unterstützt. Der Codegenerator ist in Front- und Backend unterteilt (Abb. 2). Das Frontend übernimmt die Analyse der Modellierungssprachen (*Simulink*

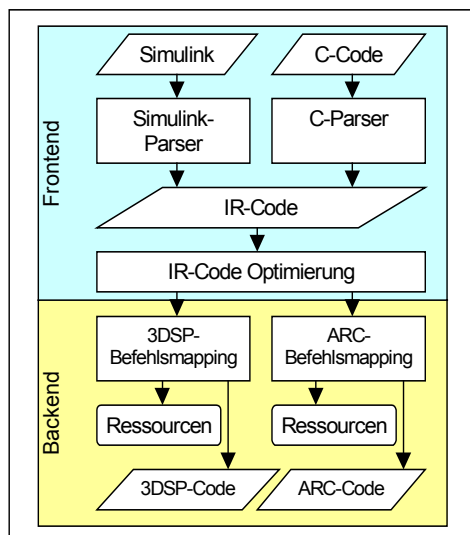


Abb. 2: Automatische Codegenerierung

bzw. C) und übersetzt diese Sprachen in einen einheitlichen, prozessorunabhängigen Intermediate Representation Code (IR - Code). Die Module des Backends bilden diesen IR - Code auf optimierten Maschinencode für unterschiedliche DSP - Architekturen ab. Durch die modulare Gestaltung des Frontends kann man Teile des Systems in verschiedenen Sprachen modellieren. So können komplizierte C - Algorithmen mit *Simulink* - Modellen kombiniert werden. Das Backend wird an die Besonderheiten der jeweiligen Prozessoren (Befehlssatz, Adressierungsarten) angepasst.

Echtzeitfähigkeit

DSP - Applikationen sind von Natur aus Echtzeitanwendungen. Eine zuverlässige Information über die Laufzeit der Algorithmen ist für den Einsatz der Software in sicherheitskritischen Bereichen unbedingt erforderlich. Da das Befehlsmapping die Algorithmen sehr detailliert analysiert, kann die Information über die benötigten Ressourcen, d.h. den Speicherplatz und die Rechenzeit, während der Optimierung des IR - Codes erzeugt werden. Anhand der Ressourcen können Alternativen bei Implementierungen und DSP - Architekturen verglichen werden, um die kostengünstigste Lösung zu finden.

Forschungsstand

Wegen der grossen Komplexität moderner DSPs oder A/D - Wandler ist es nicht sinnvoll, diese Komponenten neu zu entwickeln. Hier wird auf bestehende IP - Cores zurückgegriffen. Es ist jedoch erforderlich, die IP - Cores aneinander anzupassen und in einer mixed - signal Technologie zu integrieren.

Das IIS besitzt eine grosse Bibliothek an A/D - Wandlern, aus der ein 16 bit A/D - Wandler in eine mixed - signal Technologie umgesetzt wurde. Am IMMS wurde ein zyklischer A/D - Wandler in der gleichen Technologie entwickelt und wird zur Zeit charakterisiert. Verschiedene DSP - Cores wurden vom IMMS auf ihre Einsatzmöglichkeiten in mixed - signal ASICs untersucht. Der *Gepard* - Core der Firma AMS ist ein konfigurierbarer Festkomma - DSP, dessen Breite des Datenpfades von 16 bis 32 bit einstellbar ist. Eine Kooperation zwischen dem IMMS und der Firma 3DSP ermöglicht den Einsatz der *SP - X DSP* - Cores und der zugehörigen Entwicklungsumgebung. Als zertifiziertes Designhaus der Firma ARC verfügt das IIS über einen 32 bit RISC Prozessor. Für die Codegenerierung entwickelte das IMMS einen Parser für *Simulink* - Modelle, der die Modelle in IR - Code übersetzt. Die *LANCE* Compilertools der Universität Dortmund optimieren diesen IR - Code und stellen gleichzeitig ein Frontend für die Programmiersprache C bereit.

Ausblick

Es ist vorgesehen, einen durchgehenden Entwurfsfluss für DSP - Systeme vom Systementwurf bis zum ASIC zu schaffen. Die Methodik wird verschiedene Modellierungssprachen unterstützen. Durch die automatische Abbildung auf unterschiedliche DSP - Architekturen können Entwurfsalternativen aufgezeigt und verglichen werden. Der Entwurfsfluss wird in einem Demonstrator - Design angewendet werden. Als mögliches Einsatzgebiet wird zur Zeit die Verarbeitung von Drucksensorsignalen hoher Genauigkeit im Flugwesen untersucht. Mit der wachsenden Komplexität der Systeme wird es immer schwieriger, deren korrekte Funktion durch Simulation nachzuweisen. Einen Ausweg bietet die formale Verifikation. Am IMMS sollen Methoden entwickelt werden, die formale Verifikation speziell für mixed - signal Systeme ermöglichen.

Ansprechpartner:

DI Christian Lang

Tel.: +49 (361) 4170164

Email: christian.lang@erfurt.imms.de

Schaltungsdesign analoger und digitaler SOI - Schaltungen

Zielstellung

Das Ziel der Arbeiten zum Themenschwerpunkt SOI - Schaltungsdesign war im letzten Jahr, der Abschluss der Arbeiten zur SOI - Designumgebung, die messtechnische Untersuchung der entworfenen analogen und digitalen Teststrukturen und der Entwurf eines Demonstratorschaltkreises. Besonderer Wert wurde auf die Entwicklung des Demonstrators gelegt. Mittels dieses ICs sollte der Nachweis der Designfähigkeit mit der unter dem Förderprojekt *"Innovative Schaltungstechniken und Strukturen unter der Berücksichtigung neuester Technologien, Techniken und Anforderungen"* entwickelten SOI-Designumgebung erbracht werden.

Forschungsstand

Nachdem im Jahr 1999 die wesentlichen Grundlagen zur Entwicklung von SOI - Schaltungen gelegt wurden (Schaltungsmodelle für alle verfügbaren aktiven und passiven SOI - Schaltungselemente, Schematic entry, Layout entry, Rückerkennung von Schaltungen aus dem Layout, Layout versus Schematic, primitive devices, Digitallibrary, Ansätze einer analogen Library) wurden in diesem Jahr hauptsächlich Teststrukturen entworfen und die messtechnischen Möglichkeiten für eine Hochtemperatur (HT) - Charakterisierung verbessert. Zum Test der Digitalgatter wurden von jedem Libraryelement Gatterketten entworfen, die mit einer HT - Probecard antastbar sind. Damit war die messtechnische Auswertung der Teststrukturen möglich, welche bis zum Jahresende abgeschlossen werden konnte. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten war der Entwurf von ESD - und HF - Teststrukturen (ESD - Festigkeit von 750 V ... 4000 V nachgewiesen, Transistoren mit einer Grenzfrequenz von $f = 5$ GHz demonstriert), die auch erfolgreich an unserem Institut vermessen wurden.

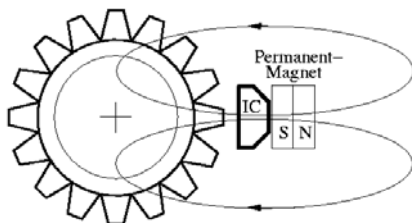


Abb. 1: Funktionsprinzip des Demonstrator - IC MLX90217HT

Das wichtigste Ergebnis der Forschungsarbeiten war die erfolgreiche Demonstration eines HT -

Schaltkreises in der vorhandenen SOI - Technologie. Dazu wurde aus der Produktpalette der Melexis GmbH Erfurt ein Schaltkreis ausgewählt und in die SOI - Technologie umgesetzt. Der entwickelte Demonstratorschaltkreis MLX90217HT dient zur Geschwindigkeitserkennung schnell umlaufender, mechanischer Teile. Dieser Schaltkreis wurde ursprünglich für die Geschwindigkeitsdetektion an Nockenwellen für die Automobilindustrie entwickelt, denkbar sind jedoch bliebig Anwendungen zur Erkennung von Zähnen eines Zahnrades. (s. Abb. 1).

Der Schaltkreis wird mit einem Dauermagneten betrieben, der hinter dem Schaltkreis angeordnet ist. An der Vorderseite des IC läuft ein ferromagnetisches Zahnrad um. Die Konzentration und Abschwächung des magnetischen Feldes

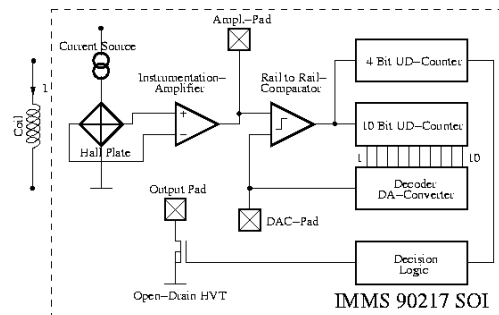


Abb. 2: Blockschaltbild

beim Durchlaufen eines Zahnes wird im Schaltkreis durch eine Hallplatte detektiert (s. Abb. 1 und Abb. 2).

Diese Hallplatte setzt das magnetische Signal in eine Spannung um, die in einem nachgeschalteten Verstärker verstärkt wird. Dieses analoge Signal wird durch einen 10 Bit A/D - Wandler in ein digitales Signal gewandelt. Eine separate Logik mit einem 4 Bit Zähler realisiert dann eine festgelegte Hysterese. Der Ausgang mit einem Open - Drain Transistor wird auf einen high Pegel geschaltet, wenn der magnetische Fluss sein Maximum erreicht hat und um einen bestimmten Wert der Hysterese abgesunken ist. Analog dazu wird der Ausgang abgeschaltet, wenn der magnetische Fluss sein Minimum erreicht hat und um die eingestellte Hysterese angestiegen ist.

Der Demonstratorschaltkreis wurde für einen erweiterten Temperaturbereich (-40 bis 220 °C) entwickelt. Dieser weite Temperaturbereich konnte nur durch die Nutzung einer hochtemperaturtauglichen 1 µm Silicon on Insulator (SOI) Technologie erreicht werden. Die magnetische und elektrische Spezifikation entspricht

dem Pendant für niedrige Temperaturen MLX90217. Denkbar sind Anwendungen, *Elektrische Spezifikation*

	<i>min</i>	<i>Typ</i>	<i>Max</i>
U_{DD}	4.5 V	-	50 V
I_{DD}	2 mA	3.5mA	4.5 mA
I_{output}	-	-	25 mA
BW	-	-	15kHz

Tab. 1: Messergebnisse

Magnetische Spezifikation

	<i>min</i>	<i>Typ</i>	<i>Max</i>
Linearer Bereich	50mT	-	500mT
Hysterese	4mT	5.5mT	10mT

Tab. 2: Messergebnisse

bei denen zyklisch oder dauerhaft Temperaturen bis zu 220 °C erreicht werden (z.B. die Ölwanne eines Fahrzeuges). Die Spezifikation des ICs findet man in Tabelle 1 und 2.

Der Schaltkreis wurde ohne Testmodus entworfen. Messungen zeigen die Funktionsfähigkeit bei 27 °C und bei 210 °C. In Abbildung 3 ist eine Messung bei $T = 210$ °C gezeigt.

Der Schaltkreis ist voll funktionsfähig. Abbildung 4 zeigt das realisierte Layout.

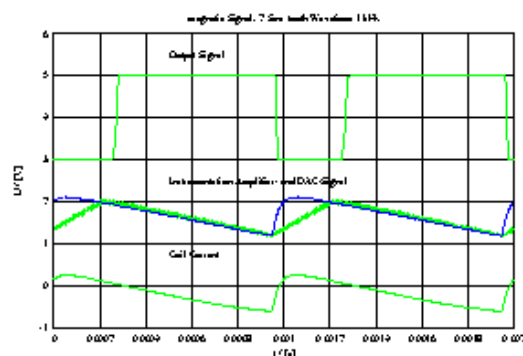


Abb. 3: Messergebnis bei $T = 210$ °C

Ausblick

Im folgenden Jahr wird die Entwicklung von Speichern (SRAM, EEPROM) einen Teil der Forschung ausmachen. Es ist beabsichtigt, die Arbeiten zur ESD - Festigkeit fortzusetzen. Ein weiterer Themenschwerpunkt wird die Entwicklung eines ICs zur Auswertung von Druck - Sensorsignalen sein. Das abschliessende Design mit eingebautem Testmodus des Demonstratorschaltkreises MLX90217 stellt jedoch den ersten Arbeitsschwerpunkt für das kommende Jahr dar.

Ansprechpartner:

Dr. Dirk M. Nuernbergk

Tel.: +49 (361) 4276611

Email: dirk.nuernbergk@imms.de

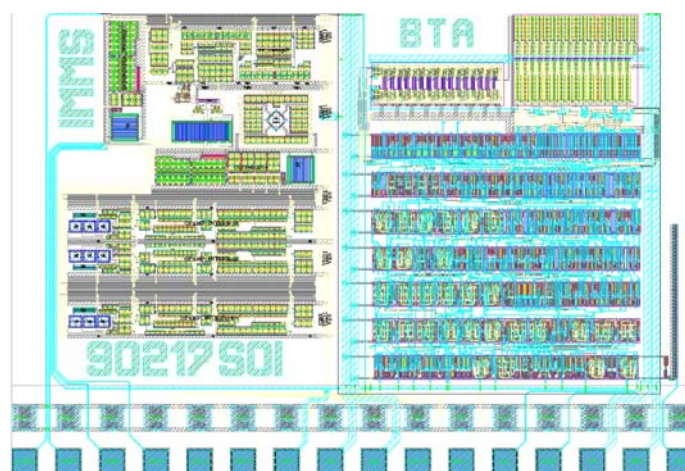


Abb. 4: realisiertes Layout

Vorträge und Veröffentlichungen

➤ **"Transimpedanzverstärker optimal dimensionieren"**

Heise, M., Stojkovic, D.
Fachzeitschrift *Design & Elektronik*, 01/2000

➤ **"Timing sensitivity analysis using field measurement data for spatial temporal equalizers"**

Trautwein, U. (IMMS gGmbH), Yamada, T.,
Fukawa, K., Matsomoto, T. (NNT Mobile
Communications Network Inc.)
Conference of the IEICE, Japan, 03/2000

➤ **"Thermal channel noise of quarter and sub-quarter micron NMOS FETs"**

Knoblinger, G., Klein, P. (Infineon Technologies
AG Germany), Baumann, U. (IMMS gGmbH)
ICMTS 2000, USA, CA, Monterey, 03/2000

➤ **"Ein neues Maschinenkonzept mit planaren Mehrkoordinatenantrieben und Laserstrahlen"**

Prof. Kallenbach, E., Saffert, E., Hoffmann, A.,
Dr. Schäffel, C., Dr. Pause, S.
1. Anwenderfachtagung Mikrosystemtechnik,
Österreich, Dornbirn, 03/2000

➤ **"Microtribology - detection of forces in the micronewton range"**

Dr. Scherge, M., Ahmed, S. I. (TU Ilmenau),
Mollenhauer, O. (TETRA GmbH), Dr. Spiller, F.
(IMMS gGmbH)
10. GMA / ITG - Fachtagung Sensoren und
Meßsysteme 2000, Ludwigsburg 03/2000

➤ **"Performance of space-time processing for ISI- and CCI-suppression in industrial scenarios"**

Trautwein, U. (IMMS gGmbH), Hampicke, D.,
Sommerkorn, G., Thomä, R. S. (TU Ilmenau)
IEEE Annual Vehicular Technology Conference,
Japan, 05/2000

➤ **"A single - switch AC - DC converter with power factor correction"**

Wie, H., Kornetzky, P. (IMMS gGmbH), Batarseh,
I.
Fachzeitschrift *IEEE Transactions on Power
Electronics*, Heft 05/2000

➤ **"Übersicht zur Simulation von Multi - Nature - Systeme"**

Coddens, K., Diels, R. (Melexis n.v.), Dr.
Nuernbergk, D. (IMMS gGmbH), Prof. Rößler, F.,
Syba, R. (Thesys GmbH)
MTT 2000, 3. Fachausstellung und
Technologiesymposium, Erfurt, 05/2000

➤ **"Planare Direktantriebe für Hochleistungsmaschinen"**

Dr. Schäffel, Ch., Katzschmann, M., Michael, S.,
Dr. Pause, S.
Fachzeitschrift *F&M - Feinwerktechnik -
Mikrotechnik - Mikroelektronik*, 06/2000

➤ **"Detection of micronewton forces in tribology"**

Dr. Scherge, M., Ahmed, S. I. (TU Ilmenau),
Mollenhauer, O. (TETRA GmbH), Dr. Spiller, F.
(IMMS gGmbH)
Fachzeitschrift *tm - Technisches Messen*, Heft 7-
8/2000

➤ **"Superresolution measurement and simulation of mobile vector radio channels"**

Trautwein, U. (IMMS gGmbH), Hampicke, D.,
Sommerkorn, G., Thomä, R. S., Richter, A. (TU
Ilmenau)
ISAP 2000, Fukuoka, Japan, 08/2000

➤ **"Development of a verical wafer stage for high-vacuum applications"**

Beckert, E., Hoffmann, A. (IMMS gGmbH),
Saffert, E. (TU Ilmenau)
Micro- and Nano-Engineering 2000, 09/2000

➤ **"Ein komplexes mechatronisches Antriebssystem für die Halbleiterfertigung"**

Dr. Schäffel, Ch., Beckert, E., Hoffmann, A.
(IMMS gGmbH), Saffert, E. (TU Ilmenau)
Ehrenkollqium zum 65. Geburtstag Prof. Dr.
Kallenbach (TU Ilmenau), Ilmenau, 09/2000

- **"MIMO - vector channel sounder measurement for smart antenna system evaluation"**

Trautwein, U. (IMMS gGmbH), Hampicke, D., Sommerkorn, G., Thomä, R. S., Richter, A. (TU Ilmenau)
MICRO tec 2000, Hannover, 09/2000

- **"Designmethodik für Low Power Kommunikationsmodule in fortgeschrittenen IC-Technologien"**

Baumann, U., Bieske, B. (IMMS gGmbH), Spira, St. (TU Ilmenau)
45. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau, 09/2000

- **"Erfahrungen bei der Nutzung einer analogen Hardware-Beschreibungssprache (AHDL) im Designflow unter CADENCE für einen zyklischen AD-Wandler"**

Kindt, R., Izak, R., Strömer, J. (IMMS gGmbH)
ITG-Fachdiskussion - "Messtechnische Charakterisierung der AD-/DA-Umsetzung"
Günzburg; 10/2000

- **"Präzisionsantriebe für die Halbleiterfertigung"**

Beckert, E. (IMMSgGmbH), Saffert, E. (TU Ilmenau), Kirschstein, U. (Leica GmbH)
Fachzeitschrift *Antriebstechnik*, 10/2000

- **"Analysegeräte und -instrumente zur Ermittlung physikalisch - technischer Parameter von technischen und biologischen Proben im Mikrometer- und Nanometerbereich"**

Dr. Spiller, F., Kelm, H.-J. (IMMS gGmbH), Mollenhauer, O. (TETRA GmbH)
10. Heiligenstädter Kolloquium, Heilbad Heiligenstadt, 10/2000

- **"Development of a vertical wafer stage for high vacuum applications"**

Beckert, E. (IMMS gGmbH)
15th Annual Meeting American Society of Precision Engineers (ASPE), Scottsdale, Arizona, USA 10/2000

- **"Design environment and there application to high temperature electronics"**

Dr. Nuernbergk, D. (IMMS gGmbH)
First Sensor Technology - Workshop "SOI-Technology", Berlin, 10/2000

- **"Modell-basierter Software-Entwurf für Karosserie- und Komfortelektronik"**

Kattaneck, W. (IMMS gGmbH)

IMMS - Workshop "Software-Entwurf für Kfz-Steuergeräte und komplexe eingebettete Systeme", Erfurt, 10/2000

- **"Devices for the examination of materials and pairings of materials in standard atmosphere and ultra high vacuum"**

Dr. Spiller, F. (IMMS gGmbH), Mollenhauer, O. (TETRA GmbH), Dr. Scherge, M. (TU Ilmenau)
Fachzeitschrift *Constructeur*, Verlag Hagen & Stam, Den Haag, NL, 11/2000

- **"HF-Front-End im 868-MHz-Band - Systementwurf und Simulationsmethoden"**

Dr. Weißleder, H. (TU Ilmenau), Bieske, B. (IMMS gGmbH)
IMMS - Workshop "Datenübertragung im 868-MHz-Band", Erfurt, 12/2000

- **"Integrierter Low-Power-Schaltungs-entwurf bei Arbeitsfrequenzen bis zu 1 GHz - Simulation und Messung"**

Lange, M. (IMMS gGmbH)
IMMS - Workshop "Datenübertragung im 868-MHz-Band", Erfurt, 12/2000

Mitgliedschaften in Verbänden, Fachgruppen etc.

- **GI/GMM/ITG-Kooperationsgemeinschaft "Rechnergestützter Schaltungs- und Systementwurf (RSS)"**
Fachgruppe 1 "Allgemeine Methodik und Unterstützung von Entwurfsprozessen für Schaltungen und Systeme"
- **GMM** - Beirat
- **DFAM** - *Deutsche Forschungsgesellschaft für die Anwendung der Mikroelektronik e.V.*
Beirat und Planungsgruppe
- **VDE / VDI Fachgesellschaften ITG und GMM**
- **VDE / VDI - Arbeitskreis Mikrotechnik Thüringen**
- **SSE-Koordinierungsgruppe**
- **ITG-Arbeitskreis "Zusammenarbeit Industrie und Hochschulen"**
- **ITG Fachgruppe "CAD für den Analogschaltentwurf"**
- **"Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf DASS '99"**
- **IEEE**
Circuit and Systems Society
Electron Devices Society
Solid-State Circuits Society
Society Circuits and Systems
- **EIBA** - *EUROPEAN INSTALLATION BUS ASSOCIATION*
- **VSIA** - *VITAL SOCKET INTERFACE ALLIANCE*
- **USB** - Implementer Forum
- **MSDN** - *MICROSOFT DEVELOPERS NETWORK*
- **VDMA** - Arbeitskreis "Nutzergruppe Mikrosystemtechnik" im VDMA
- **TZM Erfurt** - *Technologie-Zentrum-Mikroelektronik e.V.*
- **Industriegebiet Erfurt Südost e.V.**
- **Fraunhofer Gesellschaft / IOF Jena**
- **EUROPRACTICE**
- **American Chamber of Commerce**
- **DFN**
- **GNT** - *Gesellschaft zur Förderung neuer Technologien Thüringen e.V.*
- **OptoNet e.V. Thüringen**
- **AZT** - *Automobilezulieferer Thüringen e.V.*

Aufsichtsrat des IMMS

Vorsitz:

Herr Dr. H. Hamacher
Thüringer Ministerium für
Wissenschaft, Forschung
und Kunst (TMWFK), Erfurt

Stellv.:

Herr J. Lange
Thüringer Ministerium für
Wirt-
schaft, Arbeit und
Infrastruktur (TMWAI), Erfurt

weitere Mitglieder:

Herr Dr. Hacker
Jenoptik AG, Jena

Herr Dr. sc. techn. W.
Hecker
MAZeT GmbH, Erfurt

Herr Prof. Dr. G. Henning
TU Ilmenau

Herr ORR C. T. Mergel
Thüringer Finanzministerium
(TFM), Erfurt

Herr H.-J. Straub
X-Fab, Semiconductor
Foundries GmbH, Erfurt

Herr Prof. Dr. H. Thust
TU Ilmenau

Wissenschaftlicher Beirat

Vorsitz:

Herr Prof. Dr. E. Kallenbach

Stellv.:

Herr K. Herre

Herr W. Groß

Herr Prof. Dr. H.-E. Hoenig

Herr Prof. Dr. D. Hofmann

Herr Prof. Dr. G. Jäger

Herr Dr. B. Jakob

Herr Prof. Dr. W. Karthe

Herr Dr. M. Kummer

Herr Dr. St. Meiser

Herr Prof. Dr. H. Puta

Frau Prof. Dr. D. Schmitt-
Landsiedel

Herr Prof. Dr. D. Seitzer

Herr L. Siegemund

Herr Prof. Dr. M. Weck

Herr Prof. Dr. E. Westkämper

ständige Gäste:

Herr Dr. K. Täubig

Herr Dr. F. Ehrhardt

TU Ilmenau / Fak. f.
Maschinenbau

X-Fab, Semiconductor Foundries
GmbH, Erfurt

Technologiezentrum VDI/VDE
Informationstechnik GmbH,
Teltow

Institut für Physikalische Hoch-
technologie e. V., Jena

Erfurt

TU Ilmenau / Fak. f.
Maschinenbau

Technologie- und
Gründerzentrum GmbH, Ilmenau

FhG Institut für Angewandte
Optik und Feinmechanik, Jena

Bundesministerium für Wissen-
schaft, Forschung und Techno-
logie (BMBF), Bonn

IAM F&E GmbH, Braunschweig

TU Ilmenau / Fak. f. Informatik
und Automatisierung

TU München / Fak. f. Elektro-
und Informationstechnik

FhG Institut für Integrierte
Schaltungen, Erlangen

IHK Südthüringen, Suhl

Werkzeugmaschinenlabor,
RWTH, Aachen

FhG Institut für Automatisie-
rung, Stuttgart

Thüringer Ministerium für
Wissenschaft, Forschung und
Kunst (TMWFK), Erfurt

Thüringer Ministerium für Wirt-
schaft, Arbeit und Infrastruktur
(TMWAI), Erfurt

Institut für Mikroelektronik- und
Mechatronik - Systeme gGmbH

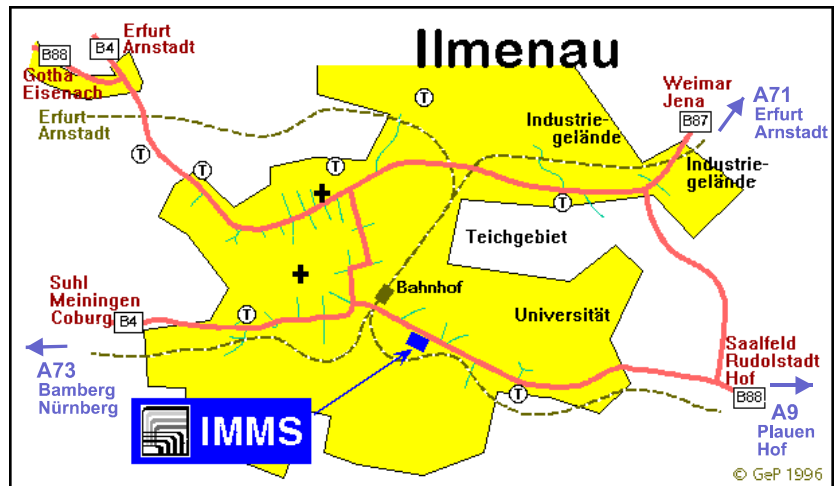
IMMS gGmbH

Langewiesener Strasse 22
D - 98693 Ilmenau (Thüringen)

Geschäftsleitung:
Prof. Dr. Gerd Scarbata
Hans-Joachim Kelm

Sekretariat:
Monika Schild

Telefon: +49 (3677) 6783-0
Telefax: +49 (3677) 6783-37
Email: imms@imms.de
www: <http://www.imms.de>



Kontakte:

System Design:

Dr. - Ing. Christian Schröder
Tel: +49 (3677) 6783-15 / Email: christian.schroeder@imms.de

*Schaltungstechnik /
Mikroelektronik:*

Prof. Dr. Franz Rößler
Tel: +49 (361) 42766-39 / Email: franz.roessler@imms.de

*Schaltungstechnik /
PCB - Technik*

Dr. - Ing. Peter Kornetzky
Tel: +49 (3677) 6783-16 / Email: peter.kornetzky@imms.de

Mechatronik:

Dr. - Ing. Christoph Schäffel
Tel: +49 (3677) 6783-33 / Email: christoph.schaeffel@imms.de

Analyse und Test:

Dr. - Ing. Peter Kornetzky
Tel: +49 (3677) 6783-16 / Email: peter.kornetzky@imms.de

Aussenstelle Erfurt:

Haarbergstrasse 67
D - 99097 Erfurt (Thüringen)

Telefon: +49 (361) 42766-39
+49 (361) 42766-01
Telefax: +49 (361) 4170-162

Kontakt:

Prof. Dr. Franz Rößler
Tel: +49 (361) 42766-39
Email: franz.roessler@imms.de

