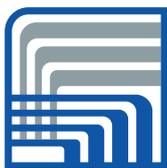


Innovation
Kreativität
innovation Vision
creativity
vision

Jahresbericht
annual report
2005



IMMS

Inhaltsverzeichnis

Table of contents

IMMS - ein flexibler Partner..... 4 mit industrienaher Orientierung	IMMS - a flexible partner with.....4 orientation close to industry
Industrienah forschen - We know how.....7	Research close to industrial conditions -7 we know how
Die IMMS gGmbH im Profil:	IMMS gGmbH - facts and figures:
IMMS in Zahlen.....9	IMMS in figures..... 9
Themenbereiche /10	Departments / Legend.....10
Begriffserklärungen	Associations.....11
Gremien.....11	Supervisory board /
Aufsichtsrat /	Scientific advisory council
Wissenschaftlicher Beirat	Publications.....12
Publikationen.....12	
Ergebnisse 2005	Results of 2005
<i>Themenbereich „Mechatronik“..... 14</i>	<i>Department „Mechatronics“..... 14</i>
SFB 622 - Entwicklung und Untersuchung.....16 mechatronischer Präzisionsantriebe	SFB 622 – Development and investigation.....16 of mechatronic precision drives
Planare elektrodynamische Direktantriebe.....20 für die Lasermikrobearbeitung und die Oberflächenmesstechnik	Planar electrodynamic direct drives..... 20 for laser-microprocessing and surface measuring technology
<i>Themenbereich „System Design“23</i>	<i>Department „System Design“ 23</i>
Entwicklung hocheffizienter.....26 Entwurfsabläufe	Development of Highly Efficient..... 26 Design Flows
Moderne Ansätze zum System Design.....28 mit Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnologie	Modern Approaches to System Design.....28 Using Components of Information and Communications Technology
Drahtlose Sensorvernetzung.....30	Wireless Sensor Networking.....30
<i>Themenbereich „Mikroelektronische.....31</i> <i>Schaltungstechnik“</i>	<i>Department „Circuit Technology /31</i> <i>Microelectronics“</i>
Konzept einer33 Schaltungs-Topologiedatenbasis	Concept of a circuit topology.....33 data base
Entwurf und Charakterisierung von.....36 HF-Demonstrator-Zellen für das Design-Kit der X-FAB in der Technologie XB06	Design and Characterisation of.....36 RF building blocks for X-FAB’s design kit in the XB06 technology
Design Kit Entwicklung und Support.....38	Design Kit Development and Support.....38
<i>Themenbereich „Industrielle Elektronik.....40</i> <i>und Messtechnik“</i>	<i>Department „Industrial Electronics and.....40</i> <i>Measuring Technology“</i>
Teststrategien für HF-ICs vom Labor.....42 zur Produktion	Test strategies for HF-ICs from.....42 laboratory to production
Messung von Empfindlichkeitsprofilen.....48 an Fotodioden	Measurement of sensitivity profiles.....48 at photodiodes
Kontakt / Adresse.....52	Contact / Address.....52
Notizen.....53	Notes.....53

IMMS - ein flexibler Partner mit industrienaher Orientierung *IMMS - a flexible partner with orientation close to industry*

Sehr geehrte Damen und Herren, sehr geehrte Geschäftspartner und Freunde,

als Teil des Innovationssystems Thüringens trägt das Angebot der IMMS gGmbH an F&E-Dienstleistungen für kleine und mittelständische Betriebe dazu bei, dem kleinteiligen Wirtschaftssystem Thüringens das Rückgrad für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung zu stärken, weil es eine Voraussetzung für Innovationen und somit für die Erhaltung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Thüringer Industrie auf internationalen Märkten ist.

Das Institut begeht im Jahr 2006 sein zehnjähriges Jubiläum. Angesichts knapper öffentlicher Mittel und einer breiten engagierten Diskussion über die Bedeutung und Rolle von Forschung und Entwicklung wird die IMMS gGmbH auch weiterhin beweisen, dass ihr Angebot an F&E für strategische Bereiche der Thüringer Industrieunternehmen unverzichtbar ist.

Mikroelektronik und Mechatronik sind mehr denn je gekennzeichnet durch hohe Dynamik und Vielfalt der Innovationen. Das ist sowohl für die Forschung als auch für die Produktentwicklung zu beobachten. In diesen beiden großen Forschungsprogrammen hat das Institut 2005 weiter an fachlicher Qualität, mit Wirkung auf seine Ausrichtung, und an marktgerechter Orientierung gewonnen. Durch die verbindenden Klammern System Design und Industrielle Elektronik und Messtechnik ist es gelungen, zu einer stärkeren multidisziplinären Sichtweise und Systembetrachtung zu kommen.

Die Forschung im IMMS richtet sich im Rahmen der Durchführung von Forschungsprojekten an den Innovationsmotoren der Thüringer Wirtschaft aus:

- Mikroelektronik - integrierte Schaltungstechnik
- Mikrosystemtechnik - modellbasierte Entwurfstechnik
- Biotechnologie - Präzisionsantriebstechnik,
- Fahrzeugtechnik - Steuerungs- und Kommunikationstechnik

Für die Anwendung seines Know-how konzentriert sich das Institut auf diese vier Geschäftsfelder. Die oben gewählte Darstellung ist nicht zuordnend sondern beispielhaft gemeint.

Integrierte Schaltungstechnik am IMMS umfasst Systemlösungen für die Verarbeitung kleinster Ströme und Spannungen für niedrige und hohe Frequenzen an der Grenze des technologisch Machbaren. Dies erfordert den Einsatz modernster mathematisch orientierter und modellbasierter Entwurfsverfahren und eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten im Entwicklungsprozess, bis hin zur Produktion. Wie später in diesem Jahres-

Dear Ladies and Gentlemen, dear business partners and friends,

As a part of the innovation system Thuringia the offer of the IMMS gGmbH of R&D services for small and medium-sized companies contributes to the encouragement of the economic system Thuringia for future economic developments. This is an essential condition for innovation and consequently for the maintenance of and increase in competitiveness of the Thuringian industry on international markets.

In the year of 2006 the institute celebrates its ten years' anniversary. In view of small public funds and an extensive, committed discussion on the importance and the role of research and development the IMMS gGmbH also in future wants to prove that its offer of R&D is indispensable for the strategic fields of Thuringian industrial companies.

Microelectronics and mechatronics are more than ever characterized by high dynamics and variety of innovations, which can be observed for research as well as for product development. In these two large research programmes the institute in 2005 has further improved its technical quality, with effect on its orientation to and compliance with market requirements. Through the connection system design and industrial electronics and measuring technology a more multidisciplinary way of looking at problem definitions and the system could be achieved.

The research activities of the IMMS within the scope of research projects are orientated at the innovation motors of the Thuringian economy:

- *microelectronics-integrated circuit engineering*
- *microsystem technology - model-based design methods*
- *biotechnology - precision drive technology*
- *vehicle technology - control and communication technology*

For the use of its know-how the institute concentrates on these four operating areas. The above representation is not meant as an assignment but as an example.

Integrated circuit technology at the IMMS includes system solutions for the processing of lowest currents and voltages for low and high frequencies, at the limit of what is technologically feasible. This requires the application of most modern mathematically orientated and model-based design methods and a close cooperation of all parties participating in the development process, which extends to production. As it will later be described in this annual report, the IMMS is a research partner in international programmes with the aim of developing the highest possible potential for the solution of problem definitions

bericht detaillierter vorgestellt wird, ist das IMMS Forschungspartner in internationalen Programmen mit dem Ziel, ein größtmögliches Potential für die Lösung der ihr übertragenen Aufgaben zu erschließen.

Modellbasierte Entwurfstechnik ist grundlegende Arbeitsweise des IMMS. Sie ist eine wesentliche Voraussetzung, um komplexe Aufgabenstellungen aus Systemsicht umfassend zu analysieren und Lösungsvorschläge zu generieren, die nicht von vorneherein an der Vielfalt möglicher Lösungsvarianten oder an den Grenzen der jeweiligen technischen Disziplin scheitern. Sie findet Anwendung sowohl für die Entwicklung elektrischer, optischer und/ oder mechanischer Systeme, besonders wenn Systemkomponenten Lösungen aus mehreren Wissenschaftsdisziplinen enthalten.

Präzisionsantriebe vereinen aufgrund der an sie gestellten höchsten Ansprüche an Funktionalität und Handhabbarkeit sowie Anforderungen an deren Fähigkeit zur Systemintegration Lösungen aus verschiedenen technischen Einzeldisziplinen. Es gilt neuartige Kenntnisse aus der Materialwissenschaft, innovative Methoden zur Annäherung an die absolut genaue Ortsbestimmung sowie ganzheitliche Verfahren zur Bestimmung dynamischen und thermischen Verhaltens zu berücksichtigen, um nur einige Kriterien für höchste Leistungen zu nennen. Von essenzieller Bedeutung ist ebenfalls die Beherrschung der Steuerungs- und Kommunikationstechnik. Neuartige Architekturen in der Steuerungstechnik bewirken Quantensprünge im Bemühen um höchste Genauigkeiten, Dynamik und Gleichförmigkeit der Bewegung elektromechanischer Elemente.

In ihrem Bemühen, eine Brücke von der Grundlagenforschung zu den Anwendungen in industriellen Prozessen zu schlagen, hat sich die IMMS gGmbH aus Sicht ihrer Kunden stets als kompetenter und verlässlicher Partner erwiesen. Dies ergab eine Befragung von Kunden und Forschungspartnern des IMMS zum Ende des Jahres 2005. Im besonderen Maße wurde die Verwertbarkeit der Lösungen des Instituts für die Produktentwicklung und die große Praxisnähe der angewandten Forschung gewürdigt. Gleichzeitig wurden dem IMMS Flexibilität und Kundenorientierung bescheinigt, wichtigste Voraussetzungen für die Zusammenarbeit mit industriellen Partnern, welche rasch und zielgerichtet auf Bewegungen der Märkte reagieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Was zählt, sind exzellente wissenschaftliche Einzelleistungen in Spezialdisziplinen genauso wie in den Grenzgebieten verschiedener Wis-

assigned to them.

Model-based design method is the fundamental working method of the IMMS. It is an essential condition for the analysis of complex problem definitions, from the system point of view, and the generation of solution proposals, which from the beginning does not fail at the variety of possible solution variants or at the limits of the individual technical disciplines. It is applied in the development of electrical, optical and / or mechanical systems, in particular, when system components contain solutions from several scientific disciplines. Owing to the maximum-high requirements made on the functionality, handling and the ability for system integration of precision drives, they combine solutions from various technical individual disciplines. New knowledge from material science, innovative methods for the approach towards absolutely precise localization as well as integral methods for the determination of dynamic and thermal behaviour must be taken into consideration, in order to mention only a few criteria for highest performance. Of essential importance is also the mastering of control and communication technology. New architectures in control technology cause quantum leaps at making efforts to achieve highest accuracies, dynamics and uniformity of the movement of electromechanical elements. In its effort to build a bridge from fundamental research to the application in industrial processes, the IMMS gGmbH from the customer's point of view has always proved to be a competent and reliable partner. This is the result of an opinion survey among customers and research partners of the IMMS at the end of the year 2005. Especially appreciated was the usability of solutions found by the institute for product development and the orientation of the applied research close to practice. At the same time the IMMS was confirmed flexibility and customer orientation, most important conditions for the cooperation with industrial partners, who must quickly and goal-directed react on movements of the markets, in order not to lose their competitiveness.

Of importance are excellent scientific individual performances in special disciplines as well as in the borderline subjects of various areas of knowledge, team spirit and responsibility in general. A staff opinion survey confirmed that the IMMS for that offers best possibilities to its staff. From the satisfaction scale of 1 (very satisfied) to 5 (not at all satisfied) the technical environment was given the mark 1.5, the personal environment the mark 1.4 and the working climate the mark 1.5. 91 % of the questioned staff members indicated that the institute has supported the development

sensbereiche, Teamgeist und Verantwortung für das Ganze. Die IMMS gGmbH bietet ihren Mitarbeitern hierfür beste Möglichkeiten. Das hat eine Mitarbeiterumfrage bestätigt. Auf der Zufriedenheitsskala von 1 (sehr zufrieden) bis 5 (gar nicht zufrieden) wurden das fachliche Umfeld mit 1,5, das persönliche Umfeld mit 1,4 und das Arbeitsklima mit 1,5 bewertet. 91% der befragten Mitarbeiter gaben an, dass im Institut die Entwicklung ihres fachlichen Könnens gefördert wird.

Dies sind sicherlich auch Gründe dafür, dass das Institut ein Magnet für Studenten betreffender Fachgebiete ist, bei der Suche sich neben oder nach dem regulären Studium fachlich und persönlich zu vervollkommen.

Durch diese Direktbetreuung der Studenten, genauso wie durch vielfältige Beiträge in der Lehre der Technischen Universität Ilmenau wird die IMMS gGmbH ihrer Rolle als „Institut an der Universität“ in hohem Maße gerecht. Im zehnten Jahr seines Bestehens (2006) bereitet sich das Institut auf einen Wechsel in seiner wissenschaftlichen Führung vor. Das gemeinsame Berufungsverfahren mit der TU Ilmenau steht kurz vor seinem Abschluss. Unser Gründungsprofessor, Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Scarbata, hat mit dem IMMS ein Institut auf den Weg gebracht, dass von Beginn an eine stetige positive Entwicklung vollzogen hat. Die IMMS gGmbH hat nicht nur ihren Platz im Innovationssystem Thüringens erobert, sondern sie hat die Entwicklung dieses Systems entscheidend mit geprägt. Ohne die vielfältigen Kooperationen mit unseren Partnern, der stets vertrauensvollen Zusammenarbeit mit den Ministerien Thüringens und im besonderen durch die enge Verbindung mit der TU Ilmenau hätte das nicht gelingen können.

Mit diesem Bewusstsein und dem Anspruch, den erfolgreichen Weg auch 2006 fortzusetzen, nehmen wir die vor uns liegenden Aufgaben in Angriff. Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Institutes für ihr gezeigtes Engagement und sagt allen unseren Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik, ebenso den Mitgliedern des Aufsichtsrates und des Wissenschaftlichen Beirates „Danke“ für die erfolgreiche gemeinsame Arbeit. Ein ganz besonderer Dank gilt unserem wissenschaftlichen Geschäftsführer, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Scarbata für seine langjährige Treue, sein engagiertes weitsichtiges Wirken in der Geschäftsführung der IMMS gGmbH und für sein verständiges und einfühlsames Führen unserer Mitarbeiter.

of their technical skill.

These are certainly reasons for the fact that the institute turns out to be a magnet for students of the corresponding special fields, in their attempt to technically and personally perfect themselves in addition to or after the regular studies. Owing to this direct care for the students, as well as through numerous contributions to the teaching of the Technical University Ilmenau, the IMMS gGmbH very much satisfies the requirements made on its role as an “institute in the university”. In the tenth year of its existence (2006) the institute prepares itself for a change in its scientific management. The mutual appointment procedure with the TU Ilmenau is close to come to its end. Our foundation professor, Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Scarbata brought the IMMS an institute on its way, which from the beginning has gone through a continuous positive development.

The IMMS gGmbH has not only taken its place in the innovation system Thuringia, but it has decisively characterized the development of this system. Without the varied cooperation with our partners, the all time trustful cooperation with the ministries Thuringia and especially the close connection to the TU Ilmenau this could not have been achieved. Being aware of this and with the wish, to continue the successful way also in 2006, we will tackle the tasks ahead of us. The management would like to thank all staff members of our institute for their commitment and says „thank you“ to all partners of industry, science and politics, also to the members of the supervisory board and the scientific advisory council for the successful common work. Special thanks are expressed to our scientific manager, Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Scarbata, for his many years' standing loyalty, his committed farsighted work in the management of the IMMS gGmbH and for his sensitive and understanding management of our personnel.



Gerd Scarbata

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Scarbata
wissenschaftl. Geschäftsführer
Scientific Manager



H.-J. Kelm

Dipl.-Ing. H.-J. Kelm
kfm. Geschäftsführer
Commercial Manager

Industrienah Forschen - We know how

Research close to industrial conditions - we know how

Das Institut möchte für die Industrie in Thüringen ein gesuchter und geschätzter Partner bleiben und der Wirtschaft einen hohen Nutzen erbringen. Die integrierten wissenschaftlichen Leistungen des Institutes in Produkten und Systemlösungen zeigen erste Erfolge auch auf der internationalen Arena.

Wissen, Können und täglich produzieren sind drei Stufen der Entwicklung, nur die letzte ist von wirtschaftlicher Relevanz. Mehr Mittel und Kräfte in Forschung und Entwicklung ist kein realisierbarer Weg. Was tun? Die Chancen des Institutes liegen:

- im Ausbau der Technologieführerschaft auf speziellen Gebieten
- in der gezielten Nutzung der Synergieeffekte von Kompetenzen
- in der klaren Kommunikation des Kundennutzens (Mehrwert durch innovative High-tech Produkte und durch Know-how Zuwachs)
- in der weiteren Nutzung regionaler und internationaler Netzwerke

Bei allem Respekt vor interessanten wissenschaftlichen Ergebnissen darf jedoch das Prinzip der Verhältnismäßigkeit nicht verletzt werden. Für das Institut gilt: Jedes Forschungsergebnis ist einer effektiven Nutzung zu zuführen. Trotzdem bleibt die industrienahe Forschung das Wagnis für Morgen. Wirtschaftliches Denken, ein Gefühl für das Machbare, gepaart mit Risikobereitschaft, sind die Grundlage für ein schnelles Vorankommen.

In diesem Zusammenhang taucht oft eine weitere Frage auf: Woher kommen Informationen zum Wissen über Entwicklungstrends? Da am Ende etwas Nutzbares entstehen muss, liegt die Antwort auf der Hand: Die Entwicklung des Bedarfes an bestimmten Technologien, also des Marktes, ist das Maß aller Dinge. Dazu bedarf es einer am Markt orientierten Forschung. Der Schlüssel liegt in der engen Verflechtung des Institutes mit seinen industriellen Partnern. Um neue Potentiale herauszufinden muss man direkt zu den Kunden gehen. Im Mittelpunkt stehen solche Unternehmen, die Geräte bzw. Lösungen für ihre speziellen Bedürfnisse weiterentwickeln und so Produkte mit Mehrwert und Alleinstellung schaffen.

In zahlreichen Branchen verkürzen sich die Produktlebenszyklen dramatisch, ausgelöst durch technischen Fortschritt und den globalen Wettbewerb. Die Fähigkeit zur Innovation wird unter diesen Bedingungen zum entscheidenden Erfolgsfaktor für Unternehmen. Die Kunden noch stärker und systematischer in den Innovationsprozess mit hineinzunehmen, ist eine we-

Also in future the institute wants to be a sought after and esteemed partner for industry in Thuringia and be of great advantage to the economy. The integrated scientific services of the institute, in the form of products and system solutions, have shown first successes in the international arena.

Knowledge, ability and daily production are three stages of development, of which, however, only the latter is relevant for the economy.

More means and more manpower in research and development cannot be realized? What can be done? The chances of the institute are in

- *the extension of the technological leading position in special fields*
- *the specific use of synergy effects of competences*
- *the clear communication of the customer advantage (increased value through innovative high-tech products and increased know-how)*
- *the further use of regional and international networks*

In all respect of interesting scientific results the principle of proportionality may, however, not be violated. For the institute the following applies: each research result must be made available for an effective use. Despite of that research work under conditions close to industry remains a risk for tomorrow. Economic thinking, the feeling for what is feasible, combined with the readiness of taking risks, are the basis for a fast going progress.

In this connection a further question often occurs: from where comes the information regarding the knowledge on development trends? As in the end something useful must be produced, the answer lies on the hand: the development of the demand for certain technologies, i. e. of the market, is the measure of all things. This requires market-oriented research. The key lies in the close interconnection of the institute with its industrial partners. In order to find new potentials, the customers must be directly contacted. In the centre of attention are such customers, who carry out further development of devices or solutions for their special requirements and that way produce products with increased value and a unique position.

In numerous trades the product life cycles are dramatically reduced through technical progress and global competition. Under these conditions the ability for innovation becomes the company's decisive factor of success. To involve the customers even stronger and more systematically into the innovation process is an essential condition, to produce new impulses for production. Here the

sentliche Voraussetzung, um neue Impulse für Innovationen auszulösen. Das Institut funktioniert hierbei wie eine Brücke, auf der Anwender und Forscher/Entwickler zusammenkommen. Wollen Unternehmen ihre Innovationsprozesse beschleunigen, dann müssen sie sich öffnen. Sie müssen Wissen ins Unternehmen hereinholen und umgekehrt ihr Wissen zur Verfügung stellen. Schneller und effizienter geht dies in Netzwerken, strategischen Kooperationen oder Innovationsclustern mit regionalen Exzellenzschwerpunkten. Nicht ausreichend ist es, solche Modelle zu fordern, man muss sie auch leben und Regeln für die neue Offenheit vereinbaren. Als Beispiel sei das Branchentreffen „Sensorik aus Thüringen – Zukunft und Wachstum durch Kooperation und Innovation“ genannt, das durch die IMMS gGmbH gemeinsam mit den Partnern UST und INNOMAN im Herbst 2005 veranstaltet wurde. 35 Unternehmen und Forschungseinrichtungen haben die Möglichkeit einer engeren Zusammenarbeit ausgelotet. Es war der Beginn:

- zur Schaffung einer gemeinsamen Informationsplattform
- für gemeinsame Produktentwicklungen und integrierte Systemlösungen
- zur Erschließung neuer Marktsegmente

Mit diesem Herangehen kann das Wachstumspotential der Branche Sensorik in Thüringen weiter stabilisiert und ausgebaut werden.

Bei den heutigen wissensintensiven Unternehmen hängt die Wettbewerbsfähigkeit immer mehr von gut ausgebildeten, kreativen und motivierten Mitarbeitern ab.

Um Herausragendes zu leisten, gilt es noch stärker das „produktive Glück“ bei der Arbeit zu fördern. Das gute Betriebsklima bildet eine Grundlage für Eigeninitiative und Innovationsfreudigkeit. Das „gebraucht werden“ motiviert enorm. Die gezielte Umsetzung der Ergebnisse von Kunden- und Mitarbeiterbefragungen erweisen sich als hilfreich.

Alle unsere Mitarbeiter verfügen über einen angemessenen Entscheidungsspielraum. Gerade ihre widersprüchliche Verschiedenheit ist die Quelle neuer Ideen und Kreativität. Es verhält sich ähnlich wie bei Werkzeugen: Ein allseitig abgerundetes Werkzeug ist stumpf und bleibt ohne nachhaltige Wirkung. In einer erfolgreichen Forschungseinrichtung, wie der IMMS, wird stets Aufbruchstimmung herrschen!

institute functions like a bridge, on which users and researchers/developers come together.

If companies want to accelerate their innovation processes, they must open up themselves. They must bring knowledge into the company and vice versa make their knowledge available. This goes quicker and more efficient in networks, strategic cooperation or innovation clusters with regional excellence concentration. It is not sufficient, to demand such models, they must be lived and rules for a new openness must be agreed upon. As an example the trade meeting „sensorics from Thuringia – future and growth by cooperation and innovation“ shall be mentioned, which was organized by the IMMS gGmbH together with the partners UST and INNOMAN in autumn 2005. 35 companies and research companies took the possibility of a closer cooperation into consideration. It was the beginning for

- *the creation of a mutual information platform*
- *for mutual product developments and integrated system solutions*
- *for opening up new market segments*

With this approach the growth potential of the trade sensorics in Thuringia can further be stabilised and extended.

At today's knowledge-intensive undertakings the competitiveness more and more depends on well-educated, creative and motivated staff members.

For the achievement of something outstanding, it is important to even more intensively promote the “productive success” in work. The good company climate forms the basis for own initiative and innovation enthusiasm. „Being needed“ is an enormous motivation. The specific realisation of the results of customer and staff opinion surveys has turned out to be helpful.

All our staff is given an adequate scope of decision-making. In particular the contradictory diversity in their opinion is the source of new ideas and creativity. It can be compared to tools: a tool rounded on all sides is blunt and without lasting effect. In a successful research company, like the IMMS, we will always be breaking up to look for new challenges!

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Wolfgang Sinn

Tel.: +49 (3677) 69-5514

E-Mail: wolfgang.sinn@imms.de

Die IMMS gGmbH in Zahlen

IMMS in figures

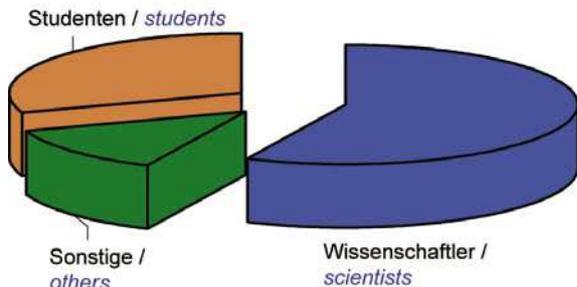


Abb. 1: Personalentwicklung
Fig. 1: Human resources development

Die Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung haben sich 2005 gegenüber dem Vorjahr um ca. 14% erhöht. Vergleichbare Steigerungen konnte das Institut bereits regelmäßig in den letzten Jahren erzielen. Die Einnahmen aus öffentlicher Projektförderung bleiben hieran gemessen zurück. Die Entwicklung der IMMS gGmbH wird aus dem Wachstum der Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung finanziert (Abb. 2).

The income from industrial order research, compared to the previous year, in 2005 increased by approx. 14%. Already during the last few years the institute could regularly achieve comparable increases. Compared with that the income from public project promotion falls behind. The development of the IMMS gGmbH is financed from the growth in income from industrial order research (Fig. 2).

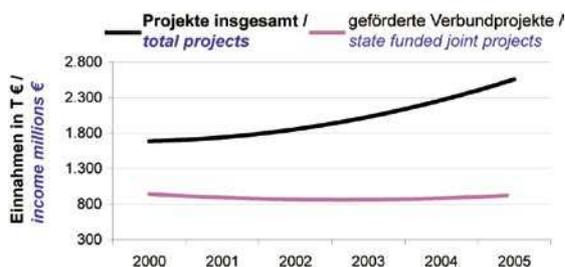


Abb. 3: Projektsituation
Fig. 3: Project situation

2005 konnte für jeden Euro aus der Grundfinanzierung ein Euro aus der industriellen Auftragsforschung akquiriert werden. Der Ertragsanteil der industriellen Auftragsforschung am Betriebshaushalt beträgt ca. 42% (Abb. 4).

In 2005 one Euro could be acquired from industrial order research for each Euro from basic financing. The profit share of industrial order research in the company budget is at approx. 42% (Fig. 4).

2005 waren in der IMMS 60 Mitarbeiter beschäftigt. Hiervon waren 46 Wissenschaftler in der Forschung und Entwicklung tätig, das sind ca. 77%. Wie bereits in den letzten Jahren haben eine große Zahl von Studenten die Angebote der IMMS wahrgenommen, ihre Ausbildung in praxisorientierter Forschung zu vervollständigen. Durchschnittlich 23 Studenten absolvierten Praktika, Diplomarbeiten, HiWi-Tätigkeiten, was ca. 50% des wissenschaftlichen Personals in der Forschung entspricht (Abb. 1).

In 2005 the IMMS employed 60 staff members. Of these 46 scientists worked in research and development, which is about 77%. As already in the last few years a great number of students took the opportunities offered by the IMMS, to complete their education in practice-oriented research. On average 23 students made their practical training, dissertations and other scientific activities, which corresponds to approx. 50% of the scientific personnel in research (Fig. 1).

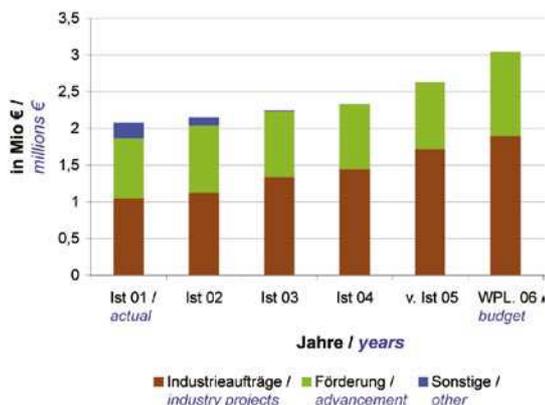


Abb. 2: Projekteinnahmen
Fig. 2: Project revenue

Die Schere zwischen Projekteinnahmen insgesamt, zu denen aus öffentlicher Förderung hat sich in den Jahren seit Bestehen des Instituts immer schneller geöffnet (Abb. 3).

The division between project-income in total, compared with that from public promotion, has become greater and greater in the years since the foundation of the institute (Fig. 3).

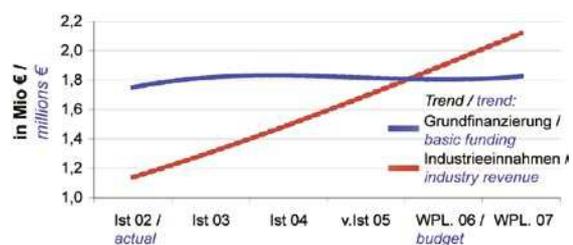


Abb. 4: Effizienz
Fig. 4: Efficiency

Themenbereiche / Begriffserklärungen

Departments / Legend

Die Leistungen der IMMS gGmbH unterstützen kleine und mittlere Unternehmen bei der Entwicklung von Systemen mit mikroelektronischen und mechatronischen Komponenten. Die Forschung gliedert sich in zwei große Programmschwerpunkte: Mikroelektronik und Mechatronik, die thematisch in vier Forschungsbereichen durchgeführt werden. Inhaltlich orientiert, eignen sich die Wissenschaftler in den Themenbereichen grundlegende Forschungsergebnisse an und akkumulieren Know-how mit dem Ziel der Beherrschung neuester Technologien. Für deren Anwendung orientieren sich die Projektleiter über die thematischen Grenzen hinaus und erschließen Ressourcen und Know-how aus allen Forschungsbereichen.

Im Bereich **Mechatronik** konzentriert sich das Institut auf die Integration von höchstauflösenden Messsystemen und Direktantrieben. Basierend auf dieser anwendungsorientierten Forschung entstehen hochwertige Analysegeräte und -instrumente für die Industrie.

Mikroelektronische Schaltungstechnik steht für die Entwicklung integrierter Schaltungen. Schwerpunkte bilden Verfahren zum Entwurf und zur Optimierung analoger Systeme. Gegenstand der Forschung sind Arbeiten zur Anwendung der symbolischen Analyse und Entwurfszentrierung.

System Design erforscht die Integration und Vernetzung komplexer Systeme unter Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnologien. Bei der industrienahen Umsetzung bedient man sich einer effektiven Entwurfsmethodik.

Im Themenbereich **Industrielle Elektronik und Messtechnik** reichen die Forschungsschwerpunkte von der Charakterisierung eines einzelnen Transistors bis zum Test von Kleinserien prototypischkomplexer Systeme. Einen wesentlichen Bestandteil bildet die Testmethodik, die auf unterschiedliche Technologien der industriellen Elektronik gerichtet ist.

Begriffserklärungen:

MODAS - Modulare Datenübertragungssysteme (GHz)

PARTEST - Mess- und Prüftechnik zur Bestimmung von fertigungsrelevanten Parametern von Mikrosystemen auf Waferebene

DETAILS - HF-Design Technologie für präzise analoge IP-basierte Front-End Lösungen in höchstintegrierten Datenübertragungssystemen

ANASTASIA+ - Methoden für den automatischen Entwurf für Anwendungen im Mixed-Signal-Bereich

TOPOLOGIE - Grundlagen einer Schaltungstopologiedatenbasis für Analogschaltungen

SPEAK - Spezifikation und Algorithmus/Architektur-Codesign für hochkomplexe Anwendungen der Automobil- und Kommunikationstechnik

With its services the IMMS gGmbH has been supporting small and medium-sized companies at the development of systems with microelectronic and mechatronic components. Research activities are focussed on two main program points: microelectronics and mechatronics, which thematically are carried out in four research fields: mechatronics, circuit engineering, microelectronics, system design as well as industrial electronics and measuring technology. In orientation to the corresponding subjects the scientists achieve and accumulate know-how in these departments with the objective of mastering the latest technologies. For the application of these technologies project managers get extensively informed and orientated exceeding the thematic boundaries and open up resources and know-how from all research areas.

*In the area of **mechatronics** the institute concentrates on the integration of maximum-high resolution and direct drives. Based on this application-oriented research high-quality analysing devices and instruments for the industry are produced.*

***Circuit technology/electronics** stands for the development of integrated circuits. Main emphasis is put on methods for the design and optimisation of analogue systems. Subject of research work are activities for the application of symbolic analysis and design concentration.*

***System Design** investigates the integration and interconnection of complex systems by using information and communication technologies. At the realization, under conditions as close to industrial conditions as possible, an effective design methodology is used.*

*In the department **Industrial Electronics and Measuring Technology** the main emphases of research reach from the characterization of individual transistors to the test of small series of prototype typical complex systems. An essential part is the test methodology, which is focussed on various technologies of industrial electronics.*

Legend:

SIDRA - Pushing the Limits of CMOS and preparing for post-CMOS

ATHIS - Advanced Techniques for High Temperature System-On-Chip

VALSE-XT - integrated fixes for System on Chip Verification

FEDSOC - front end Design technologies for Systems on Chip (SOI)

SOI-Auto - Design and Technology for Automotive based on Systems on Chip (SOI) technique

Gremien Associations

Die IMMS gGmbH engagiert sich in zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Gremien, Verbänden, Fachgruppen etc. /

The IMMS collaborates with various scientific and technical associations and sections:

- **AMA Fachverband für Sensorik e.V.**
Wissenschaftsrat, Fachausschuss „Mikrosystemtechnik und optische Sensorik“ (www.ama-sensorik.de)
- **American Chamber of Commerce**
(www.amcham.de)
- **Ausschuss für Forschung und Innovation des Verbandes der Wirtschaft Thüringens e.V.**
- **automotive thüringen e. V.** - *Automobilzulieferer Thüringen e. V. (www.automobilcluster.de)*
- **DFAM** - *Dt. Forschungsgesellschaft für die Anwendung der Mikroelektronik e.V. (www.dfam.de)*
- **DFN** - *Deutsches Forschungsnetz (www.dfn.de)*
- **EDA Centrum e.V.** *(www.edacentrum.de)*
- **EIBA - EUROPEAN INSTALLATION BUS ASSOCIATION** *(www.eiba.com)*
- **EUROPRACTICE** - *European Commission initiative (www.europactice.com)*
- **Fraunhofer Gesellschaft / IOF Jena**
- **GI/GMM/ITG-Fachgesellschaft** „Fachbereich 6 - Electronic Design Automation“ *(www.vde.com/vde)*
- **GMM - Beirat** *(www.vde.com/vde)*
- **GNT** - *Gesellschaft zur Förderung neuer Technologien Thüringen e. V. (www.gnt-ev.de)*
- **IEEE** - *Circuit and Systems Society; Electron Devices Society; Solid-State Circuits Society*
- **InnoRegio Südthüringen e. V.** *(www.inprosyst.de)*
- **ITG Fachgruppe** - „CAD für den Analogschaltentwurf“ *(www.vde.com/vde)*
- **Lernende Region Ilm-Kreis**
(www.lernregion.net)
- **Linux LIVE Verband e. V.**
(www.linux-verband.de)
- **MSDN - MICROSOFT DEVELOPERS NETWORK**
(msdn.microsoft.com)
- **MTT Mikrotechnik Thüringen e. V.**
(www.mikrotechnik-thueringen.de)
- **NEMO VISQUANET** *(www.visquanet.de)*
- **OptoNet e. V. Thüringen** *(www.optonet-jena.de)*
- **Silicon Saxony e. V.** *(www.silicon-saxony.net)*
- **TZM Erfurt** - *Technologie-Zentrum-Mikroelektronik e. V.*
- **USB** - *Implementer Forum (www.usb.org)*
- **VDE / VDI** - *Fachgesellschaften ITG, EKV und GMM (www.vde.com/vde)*
- **VDE / VDI** - *Arbeitskreis „Mikrotechnik Thüringen“ (www.vde.com/vde)*
- **VDMA** - *Arbeitskreis „Nutzergruppe Mikrosystemtechnik“ (www.vde.com/vde)*

Aufsichtsrat / Supervisory board

Vorsitz: Herr Dr. K. Bartolomé
Chair-person: Thüringer Kultusministerium (TKM), Erfurt

Stellv.: Herr K. Täubig
Deputy: Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit (TMWTA), Erfurt

Herr Dr. Hacker

High Tech Private Equity GmbH, Düsseldorf

Herr Dr. sc. techn. W. Hecker

MAZeT GmbH, Jena

Herr Prof. Dr. G. Henning

Technische Universität Ilmenau

Frau OR E. Strauch

Thüringer Finanzministerium (TFM), Erfurt

Herr Prof. Dr. K. Augsburg

Technische Universität Ilmenau

Wissenschaftlicher Beirat / Scientific advisory council

Vorsitz: Herr Prof. Dr. E. Kallenbach

Chair-person: Steinbeis Transferzentrum, Ilmenau

Stellv.: Herr K. Herre

Deputy: Zentrum Mikroelektronik Dresden AG

Herr Prof. Dr. Albrecht

IAM Braunschweig

Herr Prof. Dr. Ch. Brecher

Werkzeugmaschinenlabor RWTH Aachen

Herr Dr. W. Fuchs

Carl Zeiss Jena

Herr W. Groß

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Teltow

Herr Prof. Dr. H.-E. Hoenig

Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V., Jena

Herr Prof. Dr. D. Hofmann

Steinbeis Transferzentrum, Jena

Herr Dr. B. Jakob

Technologie- und Gründerzentrum GmbH, Ilmenau

Herr Prof. Dr. W. Karthe

FhG-Institut für Angewandte Optik und

Feinmechanik, Jena

Herr Dr. J. Kosch

X-FAB SemiconductorFoundries AG, Erfurt

Herr Prof. Dr. H. Puta

Technische Universität Ilmenau, Fak. IA

Frau Prof. Dr. D. Schmitt-Landsiedel

Technische Universität München, Fak. EI

Herr L. Pieterwas

IHK Südthüringen, Suhl

Herr Prof. Dr. G. Jäger

Technische Universität Ilmenau, Fak. MB

ständige Gäste / Regular guest members:

Herr Dr. M. Kummer

Herr Dr. J. Prinzhausen

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit (TMWTA), Erfurt

Publikationen / Vorträge / Poster *Publications / Lectures / Posters*

Publikationen / *Publications:*

[1] *E. Ulicna*

Entwurfsunterstützung (Methoden, Werkzeuge, Erfahrungen) für heterogene Systeme und deren Komponenten

5. GMM/IT/GI-Workshop "Multi-Nature-Systems: Optoelektronische, mechatronische und andere gemischte Systeme", Dresden, S. 7-12, Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen, Dresden

[2] *V. Nakov, D. Nuernbergk, S. Richter, S. Bormann, V. Schulze, S. Richter (X-FAB AG)*

Silicon-On-Insulator circuits for application at high temperatures

D. Flandre et al. (eds.), Science and Technology of Semiconductor-On-Insulator Structures and Devices Operating in a Harsh Environment, pa: 145-154, Kluwer Academic Publishers

[3] *S. Richter, D. Kirsten, D. Nuernbergk, S. Richter (X-FAB AG)*

A novel low leakage EEPROM cell for application in an extended temperature range (-40°C up to 225°C)

D. Flandre et al. (eds.), Science and Technology of Semiconductor-On-Insulator Structures and Devices Operating in a Harsh Environment, pa: 285-290, Kluwer Academic Publishers

[4] *H. Töpfer, M. Katzschmann, T. Maaß, J. Pietrusky, M. Braczek*

Entwurfsablauf für mechatronische Direktantriebe mit Embedded-Linux-Steuerung unter Aspekten effizienter Rekonfigurierbarkeit

5. GMM/IT/GI-Workshop Multi-Nature systems, S. 19-23. Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen, Dresden

[5] *M. Katzschmann; F. Spiller; N. Zeike*

Planare und lineare Direktantriebssysteme - Stand der aktuellen Entwicklungen

Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente und Konstruktion der TU Ilmenau, Band 12, S. 219-225, Verlag ISLE, Ilmenau, ISBN 3-932633-97-0

[6] *M. Götze, W. Kattanek*

Using software product lines in the design of embedded communication devices

Net.ObjectDays 2005, S. 323-338. Net.ObjectDays c/o transIT GmbH. Erfurt

[7] *Ch. Knoth, H. Töpfer*

Electromechanical Issues of Powering Energy-Autonomous Electronic Control Units

Proceedings 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 'Mechanical Engineering from Macro to Nano', S. 215-216. Technische Universität Ilmenau/Verlag ISLE Ilmenau

[8] *T. Maaß, H. Töpfer, M. Katzschmann und M. Braczek*

Durchgängiger Entwurf von Embedded-Linux-Steuerungen für mechatronische Direktantriebe

Proceedings 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 'Mechanical Engineering from Macro to Nano', S. 427-428. Technische Universität Ilmenau / Verlag ISLE Ilmenau

[9] *J. Zellmann, M. Reichenbach*

Modellbasierter Entwurf mit konfigurierbarem Prozessorkern unter Matlab/Simulink

Tagungsband Austrochip 2005, S. 173-176. ISBN: 3-901578-13-7, Institut für Computertechnik, TU Wien

[10] *E. Ulicna*

High-level Modeling für analoge Module mit SystemC

7. Chemnitzer Fachtagung Mikromechanik & Mikroelektronik, S. 36-39. TU Chemnitz

[11] *D. Kirsten, D. Nuernbergk, S. Richter, S. Richter (X-FAB AG)*

Embedded EEPROM design in PD-SOI for application in an extended temperature range (-40°C up to 200°C)

Fachzeitschrift 'Solid State Electronics' Nr. 49 (2005) S. 1484-1487

Vorträge / *Lectures:*

[1] *H. Töpfer*

Echtzeitsteuerungstechnik für hochdynamische Antriebe

23.01.2005, Workshop „Innovative Produkte im Spannungsfeld von Entwicklung und Vermarktung“, Ilmenau

[2] *D. Nuernbergk*

Linear Regulators for High Temperature Applications

19.-21.01.2005, EUROSIOI 2005, First Workshop of the Thematic "Network on Silicon On Insulator Technology, Devices and Circuits", Granda (Spain)

[3] *H. Töpfer*

Entwurfsablauf für mechatronische Direktantriebe mit embedded-Linux-Steuerung unter Aspekten effizienter Rekonfigurierbarkeit

18.02.2005, 5. GMM/IT/DI-Workshop „Multi-Nature-Systems: Optoelektronische, mechatronische und andere gemischte Systeme“, Dresden

[4] *E. Ulicna*

Entwurfsunterstützung (Methoden, Werkzeuge, Erfahrungen) für heterogene Systeme und deren Komponenten

18.02.2005, 5. GMM/IT/DI-Workshop „Multi-Nature-Systems: Optoelektronische, mechatronische und andere gemischte Systeme“, Dresden

[5] *R. Kindt*

Analoge Korrektur OPV-bedingter Fehler in SC-Schaltungen

14. 02.2005, Kolloquium "Neue IC-Design-Techniken" der GFWW, Frankfurt/Oder

[6] *M. Götze*

Implementierung von IEEE 802.1w (RSTP) unter Linux zur beschleunigten Topologie-Rekonfigurierung von Ethernet

31.03.2005, Linux Automation Konferenz, Hannover

[7] *Th. Elste*

Untersuchung zum Aufbau eines echtzeitfähigen Embedded-Linux-Moduls

31.03.2005, Linux Automation Konferenz, Hannover

[8] *H. Töpfer*

Dynamical Aspects of RSFQ Logic Circuits

19.09.2005, 3rd International FLUXONICS RSFQ Design Workshop, Ilmenau

[9] *T. Maaß, H. Töpfer, M. Katzschmann, M. Braczek*

Durchgängiger Entwurf von Embedded-Linux-Steuerung für mechatronische Direktantriebe

19.09.2005, 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau

[10] *M. Götze, W. Kattanak*

Using software product lines in the design of embedded communication devices

20.-22.09.2005, Net.ObjectDays, Jena

[11] *H. Töpfer*

Aspekte des Einsatzes freier Software in eingebetteten Systemen

11.10.2005, Workshop „Freie Software in eingebetteten Systemen - Szenarien für industrielle Anwendungen“, Ilmenau

[12] *A. Schreiber*

Der Einsatz des Open Source Betriebssystems eCos - Vorteile, Grenzen, Features, Konzept, Struktur

11.10.2005, Workshop „Freie Software in eingebetteten Systemen - Szenarien für industrielle Anwendungen“, Ilmenau

[13] *Th. Elste*

Embedded Linux: Die flexible Lösung für angepasste Implementierungen

11.10.2005, Workshop „Freie Software in eingebetteten Systemen - Szenarien für industrielle Anwendungen“, Ilmenau

[14] *W. Sinn*

Konvergenz Sensorik & Mobilkommunikation

12.-13.10.2005, 7. Wireless Technologies Kongress, Mannheim

[15] *W. Sinn*

Konvergenz Sensorik & Mobilkommunikation

26.-27.10.2005, 7. Chemnitzer Fachtagung „Mikrosystemtechnik - Mikromechanik & Mikroelektronik“, Chemnitz

[16] *E. Ulicna*

High-level Modeling für analoge Module mit SystemC

26.-27.10.2005, 7. Chemnitzer Fachtagung „Mikrosystemtechnik - Mikromechanik & Mikroelektronik“, Chemnitz

[17] *R. Kindt*

Design von Zyklischen ADU in SC-Technik

Entwurfsseminar IMMS für ZMD, Dresden
27./28.09.05 Teil 1 - „systematisches Design von SC-Systemen, Simulationstechniken“
23./24.11.05 Teil 2 „Schaltungsdesign und -optimierung, Layoutaspekte, Parasiticanalyse“

Poster / Posters:

[1] *D. Kirsten*

Embedded EEPROM in PD-SOI for Application in an Extended Temperature Range

19.-21.01.2005, EUROSIOI 2005, First Workshop of the Thematic "Network on Silicon On Insulator Technology, Devices and Circuits", Granda (Spain)

[2] *Th. Ortlepp, H. Töpfer, S. Wunsch, R. Schwemlein, J. Flamm, E. Crocoll, M. Siegel, F. H. Uhlmann*

Design of a superconductor-to-semiconductor interface circuit for high data rates

05.-09.09. 2005, ISEC 2005, Noordwijkerhout (Netherlands)

[3] *Ch. Knoth, H. Töpfer*

Electromechanical Issues of Powering Energy-Autonomous Electronic Control Units

19.09. 2005, 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau

[4] *St. Hesse*

Untersuchungen zur erreichbaren Positionierungsunsicherheit bei elektrodynamischen Direktantrieben mit aerostatischer Führung

19.09. 2005, 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau

Mechatronik

Mechatronics

Zukunftsorientierte Technologien und Techniken stellen enorme, ständig steigende Anforderungen an die Positionierauflösung und -genauigkeit funktionsbestimmender Baugruppen. Dazu zählen insbesondere die Mikroelektronik, die Mikromechanik, die Präzisionsoptik, die Mikrooptik, die Mikromechanik (MEMS), die Replikationstechnik, die Lithographie u.a.. In dem Maße wie sich diese Techniken entwickeln, steigen die Anforderungen an die Ausrüstungen.

Die teilweise enormen Anforderungen bedingen neben der Integration von höchstauflösenden Messsystemen und Motoren auch eine komplette Modellierung und Simulation des thermischen und dynamischen Verhaltens der Baugruppen. Neuartige Antriebsstrukturen, energieeffiziente Auslegung von Antriebs- und Führungskomponenten, reibungsarme Lagerungen und Führungen, passive Gewichtskompensationen sowie präzise Kühl- und Temperiertechniken sind einige der Schlüssel für Verbesserungen in künftigen Geräten und Maschinen.

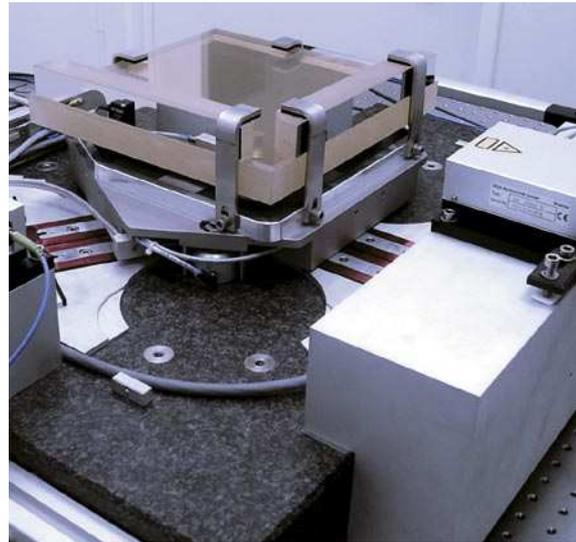
Die vielfach komplexen Aufgabenstellungen können nur in enger Zusammenarbeit von Fachleuten verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und Methoden sowie unter Verwendung effektiver Entwurfs- und Modellierungswerkzeuge gelöst werden, um so der Forderung nach immer kürzeren Entwicklungszyklen gerecht werden zu können. Für die Bearbeitung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten stehen unseren Fachleuten eine Vielzahl leistungsfähiger Softwaretools sowie eine solide messtechnische Ausrüstung und Infrastruktur zur Verfügung.

Die IMMS gGmbH bietet ihren Kunden den Vorteil, dass sie eine durchgängige Lösung von der Idee über Entwurf, Auslegung, Konstruktion, Erprobung bis zur Produktrealisierung aus einer Hand erhalten. Hierzu wird vom Institut ein sehr breites Wissen u.a. auf den Gebieten

- der magnetischen Antriebstechnik sowie der magnetischen Lagerung und Führung
 - der aerostatischen Lagerung und Führung
 - der optischen und laserinterferometrischen Messtechnik
 - der Modellierung und Simulation multiphysikalischer Problemstellungen
 - sowie der Steuerung komplexer Systeme
- bereitgestellt.

Durch abteilungsübergreifende Schwerpunktbildung konnte im Jahr 2005 auf dem Gebiet der Linux - basierten Steuerung planarer Antriebssysteme die Kompetenz wesentlich ausgebaut werden (s. S. 23).

Weitere Schwerpunkte bildeten die Arbeiten zur Gestaltung von nm - Positionier und - mess-



Future-oriented technologies and techniques make enormous, constantly increasing requirements on the positioning resolution and accuracy of functional assemblies. This in particular includes microelectronics, micromechanics, precision optics, microoptics, micromechanics (MEMS), replication technology, lithography and others. As fast as these technologies are developed, the requirements on the equipments increase.

Apart from the integration of maximum-resolution measuring systems the partially enormous requirements also necessitate complete modelling and simulation of the thermal and dynamic behaviour of assemblies. New drive structures, energy-efficient layout of driving and guiding components, low-friction bearings and guiding elements, passive weight compensation as well as precise cooling and tempering techniques are some of the keys to the improvements made at future devices and machines.

The often complex problem definitions can only be solved in close cooperation of experts of various scientific disciplines according to latest scientific knowledge and methods as well as by using effective design and modelling tools, in order to be able to meet the requirement of always shorter development cycles. For working at research and development projects our experts are provided with a great number of efficient software tools as well as a solid measuring equipment and infrastructure.

We offer our customers the advantage to get one complete solution from the idea to design, layout, construction, testing to product realization from one hand. For that among others we offer a very wide knowledge in the fields of

- *magnetic motive power engineering as well as magnetic bearing arrangement and guidance*

systemen im Rahmen des SFB622 sowie zur Realisierung von 3 Typen von planaren elektrodynamischen Direktantrieben für Präzisionslaser-schneid- und Messapplikationen im Rahmen des Projektes Mikrostrukturierung.

Lesen Sie hierzu näheres in den beiden folgenden Beiträgen.

Im Ergebnis der Projektarbeiten des Jahres 2005 befinden sich am Themenbereich insgesamt fünf Patentanmeldungen in Vorbereitung.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel

Tel.: +49 (3677) 69-5560

E-Mail: christoph.schaeffel@imms.de

- *aerostatic bearing arrangement and guidance*
- *optical and laserinterferometric measuring technology*
- *modelling and simulation of multi-physical problem definitions*
- *as well as the control of complex systems.*

In the year of 2005 in the field of Linux-based control of planar drive systems the competence could considerably be extended (see p. 23), owing to department overlapping concentration of emphases.

Further emphases were represented by work on the design of nm – positioning and measuring systems within the scope of SFB 622 as well as on the realization of 3 types of planar electrodynamic direct drives for precision laser cutting and measuring applications within the scope of the Project Microstructuring.

As a result of the project work in the year of 2005 the department has been preparing in total five patent applications.

SFB 622 - Entwicklung und Untersuchung mechatronischer Präzisionsantriebe / *Development and investigation of mechatronic precision drives*

Zielstellung

Seit dem Jahr 2002 ist die IMMS als Forschungspartner im Sonderforschungsbereich (SFB) 622 „Nanopositionier- und Nanomeßmaschinen“ der DFG tätig. Der SFB hat die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Realisierung von Maschinen zur Positionierung, Messung, Antastung und Modifizierung von dreidimensionalen Objekten mit Nanometerpräzision zum Ziel. In der überaus positiven Beurteilung der bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten durch die Gutachter der DFG im Frühjahr 2005 betonten diese vor allem die Innovationsfähigkeit und die Mitbestimmung des internationalen Standes der Technik auf diesem Gebiet. Als ein Teilprojekt innerhalb des SFB beschäftigt sich die IMMS gGmbH mit der Entwicklung von Nanopositioniersystemen großer Bewegungsbereiche. Die Forschungsarbeiten haben dabei die Realisierung eines Positioniersystems mit folgenden Parametern zum Ziel:

- **Verfahrbereich:**
200 x 200 x 5 mm³ (350 x 350 x 50 mm³)
- **Messauflösung:** 0,1 nm
- **Positionierunsicherheit:** 3 nm
- **Verfahrgeschwindigkeit** in x, y: 10 mm/s
- **Umgebung:** Klimakammer, Vakuum

Aus dieser Zielstellung leiten sich wissenschaftlichen Arbeitsziele im Teilprojekt ab:

- Steigerung der Positioniergenauigkeit planarer Direktantriebe bis in den nm-Bereich
- Untersuchung von Einflussfaktoren und Erarbeitung von Vorschlägen und Konzepten zur Reduzierung der Positionierunsicherheit bei Verfahrbereichen von einigen 100 mm
- Entwicklung von Konzepten für vakuumtaugliche Antriebssysteme mit großem Verfahrbereich (350 x 350 mm²)

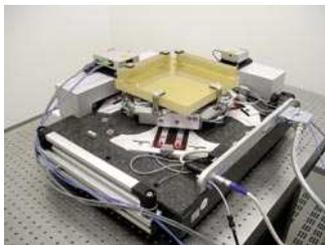


Abb. 1:
PMS100-3 mit Lasermesssystem

Fig. 1:
PMS100-3 with laser measuring system

Forschungsverlauf- und -stand

Planare Direktantriebe stellen aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften einen äußerst vielversprechenden Ansatz für das Erreichen der Zielstellungen dar. Tests im Hause zeigten bereits, dass der Betrieb derartiger Motoren mit einem hochgenauen laserinterferometrischen Messsystem möglich ist (Abb. 1). Die wesentlichen

Objective

Since the year of 2002 the IMMS has been working as a research partner in the collaborative research centre (SFB) 622 "nanopositioning and nanomeasuring machines" of the DFG. The objective of the SFB is the elaboration of the scientific fundamental principles for the realization of machines for positioning, measurement, approach and modification of three-dimensional objects with nanometer precision. In the extremely positive judgement of the current scientific work by the experts of the DFG in spring 2005 they in particular emphasized the innovation capability and the codetermination of the international state of the art in this field. As a partial project within the SFB the IMMS has been dealing with the development of nanopositioning systems for large movement ranges. In this respect the objective of research work is the realization of a positioning system with the following parameters:

- *Travel range:*
200 x 200 x 5 mm³ (350 x 350 x 50 mm³)
- *Measuring resolution:* 0,1 nm
- *Positioning uncertainty:* 3 nm
- *Positioning speed* in x, y : 10 mm/s
- *Environment:* climatic chamber, vacuum

From these objectives the following topics of scientific work for the subproject are derived:

- *Increase in the positioning accuracy of planar direct drives into the nm-range*
- *Investigation of influencing factors and working out proposals and concepts, in order to reduce the positioning uncertainty at travel ranges of some 100 mm*
- *Development of concepts for driving systems suitable to be used in vacuum with large travel range (350 x 350 mm²)*

Course and status of research

Owing to their excellent properties planar direct drives represent a very promising attempt for the achievement of the objectives. Tests carried out in our house already showed that the operation of such motors with a high-precision laser interferometric measuring system is possible (Fig. 1). Apart from the measuring system the essential factors determining the accuracy are the properties of the planar slider guidance as well as the thermal influence on the system by the driving coils. Here air bearings as guide elements offer numerous known advantages, which are additionally supplemented by a remaining noise in sub-nm amplitudes (see annual report 2004). Nevertheless, the bearings cause an energy input into the measuring and performance range of the machine. A measurement of the air volume flow of individual guide elements at various operating conditions



Abb. 2: Temperierung der Antriebsspulen

Fig. 2: Tempering of the driving coils

genauigkeitsbestimmenden Faktoren sind neben dem Messsystem die Eigenschaften der planaren Läuferführung sowie die thermische Beeinflussung des Systems durch die Antriebsspulen. Luftlager bieten als Führungselemente hier zahlreiche bekannte Vorteile, die durch ein Reustrauchen mit sub-nm Amplituden (s. Jahresbericht 2004) noch ergänzt werden. Dennoch kommt es durch die Lager zu einem Energieeintrag in den Mess- und Arbeitsbereich der Maschine. Eine Messung des Luftvolumenstromes einzelner Führungselemente bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ermöglichte die Bestimmung der hier eingebrachten Leistung, die bei einem Temperaturunterschied von 1 K zwischen 5 und 10 mW liegt. Um der thermischen Störung des Systems durch Erwärmung der Antriebsspulen zu begegnen, wurde ein Konzept entwickelt und umgesetzt welches eine Kapselung der Flachspulen in einem Kühlkörper und dessen Temperierung auf Referenztemperatur mit Hilfe eines Kühlmediums vorsieht (Abb. 2). An Hand dieser Baugruppe wurden zahlreiche Messungen zur Minimierung der Wärmeübergangswiderstände und zur Ermittlung der erzielbaren Temperaturstabilität durchgeführt. Dazu gehörte neben einer modellbasierten Analyse und Auslegung des thermischen Systems auch die thermografische Ermittlung der Temperaturverteilung an der Oberseite der Baugruppe (Abb. 3). Mit Hilfe dieser Untersuchungen konnten die Eigenschaften der bestehenden Baugruppe optimiert sowie Ansätze zu Verbesserungen im Temperierkonzept gewonnen und ein bzgl. des Wärmeabtransports verbessertes Kühlkörperdesign erarbeitet werden.

Für die Untersuchung der Einflussfaktoren zur Reduzierung der Positionierungsunsicherheit wurde in Fortführung der Entwurfsarbeiten ein Demonstrator mit einem linearen Verfahrbereich von 200 mm aufgebaut (Abb. 4). Für den zentral angreifenden linearen elektrodynamischen Direktantrieb wurde die bestehende Temperierbaugruppe (s.o.) eingesetzt. Der Läufer wird mit Hilfe linearer aerostatischer Buchsen geführt und an der Oberseite ist die thermisch stabile Zerodur[®]-Messspiegelecke über einen Zwischenrahmen und spezielle Koppelstellen justierbar und zwangsfrei angekoppelt. Sie dient als Reflektor für die laserinterferometrische Wegmessung.

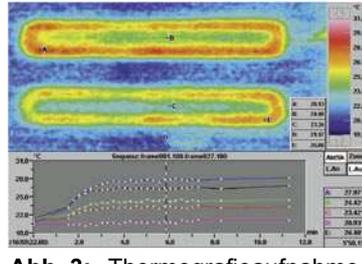


Abb. 3: Thermografieaufnahme der Spulenkühlung

Fig. 3: Thermograph of the coil cooling system

allowed the determination of the current power input, which at a temperature difference of 1K is between 5 and 10 mW. In order to counter the thermal interference of

the system through heating of the driving coils, a concept has been developed and realized according to which the flat coils are enclosed into a cooling element, which is tempered to reference temperature by means of a cooling medium (Fig. 2). With the help of this assembly numerous measurements for the minimization of heat transmission resistances and the determination of the achievable temperature stability were carried out. Apart from the model-based analysis and design of the thermal systems this also included the thermographic determination of the temperature distribution on the upper side of the assembly (Fig. 3). By means of these investigations the properties of the existing assembly could be optimised as well as attempts for the improvement in the tempering concept be made and a regarding heat dissipation improved cooling element design be achieved.

In continuation of the design work a demonstrator with a linear travel range of 200 mm was assembled for the analysis of the influencing factors for the reduction of the positioning uncertainty (Fig. 4). For the centrally acting linear electrodynamic direct drive the existing temperature control assembly (see above) was used. The slider is guided by means of linear aerostatic bushings and at the upper side the thermally stable Zerodur[®]-reflector angle is adjustable by an intermediate frame and special coupling points and is coupled without constraint. It serves as a reflector for laser interferometric position measuring. In the current configuration the demonstrator has the following properties:

- Travel range: 200 mm
- Measuring resolution: 1,6 nm
- Positioning speed in x : 10 mm/s
- Moving mass: 14 kg
- Maximum driving force: 20 N

By means of the demonstrator the driving system is tested as a comprehensive unit, in order to test partial solutions during operation and to gain experiences in particular regarding the large Zerodur[®]-reflector. This is of great importance for the achievement of the formulated objective. That way, for example, it became possible, to analyse

In der derzeitigen Konfiguration besitzt der Demonstrator folgende Eigenschaften:

- Verfahrbereich: 200 mm
- Messauflösung: 1,6 nm
- Verfahrsgeschwindigkeit in x: 10 mm/s
- bewegte Masse: 14 kg
- Spitzenantriebskraft: 20 N

An Hand des Demonstrators wird das Antriebssystem als Ganzheit erprobt, um Teillösungen im Betrieb zu testen und Erfahrungen vor allem bzgl. der Positionierung des großen Zerodur[®]-Reflektors zu gewinnen. Dies ist für das Erreichen der formulierten Zielstellung von großer Bedeutung. So wurde es beispielsweise möglich die Eignung der Temperierbaugruppen im realen Betrieb zu untersuchen. Hierzu wurde eine Referenzbahn mit vergleichsweise hohen Antriebskräften, also einem hohen mittleren Spulenstrom abgefahren und der Temperaturverlauf aufgezeichnet. Wie in Abb. 5 zu erkennen, erhöht sich hierbei die Spulenkerntemperatur bei eingeschalteter Temperierung um lediglich 0,5 K.

Ein weiterer Schritt zur Verwirklichung der Zielstellungen in diesem Projekt ist der Aufbau eines Positioniersystems für einen Verfahrbereich von 200 x 200 mm² als Vorstufe für ein vakuumtaugliches System (Abb. 6).

Innerhalb des SFB-Teams übernahm die IMMS hier die Entwicklung und Konstruktion des Positioniersystems. Dabei wurde eine serielle symmetrische Grundstruktur für Antrieb und Führung ausgewählt. Für die Positions- und Winkelmessung kommt das bewährte Konzept mit bewegter Zerodur[®]-Messspiegelecke und feststehenden Laserinterferometern zum Einsatz. Die beiden Bewegungsachsen sind ineinander geschachtelt, so dass der Kraftangriff jeweils in der Höhe des Schwerpunkts der bewegten Masse erfolgt. Als Achsantriebe werden auch hier elektrody-

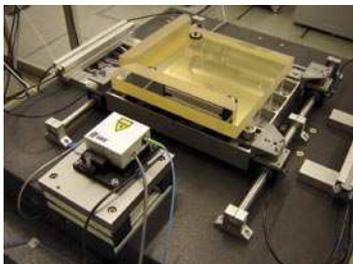


Abb. 4: 200 mm Lineardemonstrator

Fig. 4: 200 mm linear demonstrator

namische Aktoren eingesetzt. Die konstruktive Umsetzung des gewählten Konzeptes und die Gestaltung der Komponenten wurde durch FEM-Simulationen zum statischen und dynamischen Verhalten der Bauteile unterstützt (Abb. 7). Auf diese Weise konnte die Entwicklungszeit verkürzt und gleichzeitig ein, den dynamischen

the suitability of the tempering assemblies in real operation. For that a reference path was to rack out with comparably high driving forces, i.e. a high medium coil current. Furthermore, the temperature profile was recorded. As can be seen in figure 5, here the coil core temperature increases by merely 0.5 K while the tempering system is switched on.

A further step towards the realization of the objectives in this project is the assembly of a positioning system for a travel range of 200 x 200 mm² as a pre-stage for a system suitable to be used in a vacuum (Fig. 6). Within the SFB-

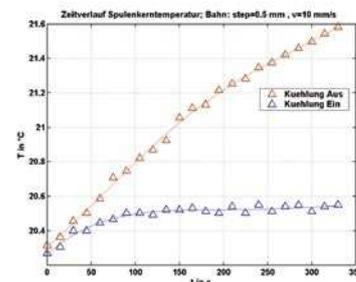


Abb. 5: Temperaturverlauf am Spulen Kern bei Abfahren einer Referenzbahn

Fig. 5: Temperature profile at the coil core at a reference track

team the IMMS took on the development and construction of the positioning system. Here a serial symmetric basic structure was selected for drive and guidance. For the position and angle measurement the proven concept with moving Zerodur[®]-reflector angle and fixed laser interferometers was used. The two axes of motion are interleaved so that the force individually acts in the height of the centre of gravity of the moved mass. Here too electrodynamic actuators drive the axes. The constructive realization of

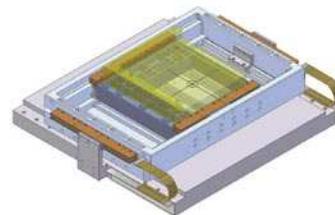


Abb. 6: 3D Entwurf des 200 x 200 mm² Positioniersystems

Fig. 6: 3D design of 200 x 200 mm² positioning system

the selected concept and the layout of components were supported by FEM-simulations on the static and dynamic behaviour of the component parts (Fig. 7). That way the development time could be reduced and at the same time a design could be found by which the dynamic requirements (natural frequency) are met. Apart from that knowledge from other working areas could

Anforderungen (Eigenfrequenzen) genügendes Design gefunden werden. Darüber hinaus konnte bei der Auslegung des Systems und einzelner Komponenten auf bereits gewonnene Erkenntnisse aus anderen Arbeitsbereichen zurückgegriffen werden. Dies war beispielsweise bei der Auslegung der Temperierung für die Antriebsprimärteile und bei der Dimensionierung der Koppelstelle zur Spiegeleckenlagerung der Fall.

Ausblick

Basierend auf den positiven Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen zur Nanopositionierung mit integrierten Direktantriebssystemen ist der nächste Schritt der Aufbau eines Planarmotors in Dreieckstruktur mit Zerodur® -Läufer und laserinterferometrischem Messsystem. Mit diesem Aufbau, der einen Verfahrbereich von \varnothing 100 mm ermöglicht, können Untersuchungen zum Einsatz neuartiger Interferometer sowie zur direkten Verbindung von Läufer und Messspiegel durchgeführt werden. Weiterhin werden die Arbeiten am 200 mm Lineardemonstrator fortgeführt. Neben der messtechnischen Untersuchung bzgl.

- reale Kraft-Weg Kennlinie (→ Verbesserung der Kommutierung)
- Führungseigenschaften (Versatz, Verkippung, Verdrehsteifigkeit)
- Schwingungsanregung durch Kühlmediumsströmung

ist eine Erweiterung des Aufbaus durch eine äußere Schirmung und eine symmetrische Antriebskonfiguration vorgesehen. Des Weiteren wird durch die quantitative Erfassung von Störeinflüssen (z.B. Sensorrauschen, Verstärkerrauschen) und die Modellierung des Übertragungsverhaltens des realen Systems eine modellbasierte Abschätzung der Positionierungsunsicherheit angestrebt. Hierbei dient der Lineardemonstrator sowohl zur Messung der Störungen als auch zur Validierung des Systemmodells.

Während der Entwurf für das 200 x 200 mm² System in naher Zukunft aufgebaut und in Betrieb genommen wird, erfolgt parallel die auf diesem Konzept basierende Weiterentwicklung zu einem vakuumtauglichen System für 10e-03 mbar. Langfristig besteht das Ziel der Arbeiten in diesem Projekt in der Realisierung eines vakuumtauglichen Präzisionspositioniersystems mit einem Verfahrbereich von 350 x 350 mm² und magnetischen bzw. vakuumtauglichen aerostatischen Führungen.

Ansprechpartner / Contact:
Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Mohr
Tel.: +49 (3677) 69-5568
E-Mail: hans-ulrich.mohr@imms.de

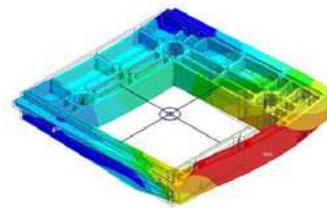


Abb. 7:
Modalanalyse des XY Läufers (FEM)
Fig. 7:
Modal analysis of XY-slider (FEM)

be used at the layout of the system and of individual components. That, for example, was the case at the layout of the tempering unit for the primary drive parts and at the dimensioning of the coupling point to the reflector angle bearing.

Outlook

Based on the positive results of the current investigations on nanopositioning with integrated direct drive systems the next step is the assembly of a planar motor in triangular structure with Zerodur®-slider and laser interferometric measuring system. With this assembly, which allows a travel range of \varnothing 100 mm, the investigations for the use of new interferometers as well as for direct coupling of the slider and the measuring reflector can be carried out.

Furthermore, the work at the 200 mm linear demonstrator is continued. Apart from the metrological analysis regarding

- real load displacement characteristic (→ improvement of commutation)
- guiding properties (displacement, tipping, torsion strength)
- vibration excitement through cooling medium flow

an extension of the assembly by outer screening and a symmetrical drive configuration is also intended. Furthermore, a model-based estimation of the positioning uncertainty should take place. Apart from that the quantitative detection of disturbing influences (e.g. sensor noise, amplifier noise) and modelling of the transmission behaviour of the real system a model-based evaluation of the positioning uncertainty is intended. Here the linear demonstrator serves for the measurement of the disturbances as well as for the validation of the system model. While the design for the 200 x 200 mm² system will be assembled in the near future and be put into operation, the further development of a system for 10e-03 mbar based on this concept will take place in parallel.

On the long term the aim of the work in this project is the realization of a precision positioning system suitable to be used in a vacuum with a travel range of 350 x 350 mm² and magnetic or vacuum-compatible aerostatic guides.

Ansprechpartner / Contact:
Dipl.-Ing. Steffen Hesse
Tel.: +49 (3677) 69-5567
E-Mail: steffen.hesse@imms.de

Planare elektrodynamische Direktantriebe für die Lasermikro- bearbeitung und die Oberflächenmesstechnik / *Planar electrodynamic di- rect drives for laser-microprocessing and surface measuring technology*

Ausgangssituation

Die seit Jahren steigenden Anforderungen an die Präzision von Bauteilen der Feinwerktechnik, der Präzisionstechnik, der Mikrotechniken und der MEMS bedingen immer bessere Fertigungsverfahren und genauere Maschinen. Bei der mechanischen Fertigung, insbesondere beim Urformen, Umformen und bei der spanenden Bearbeitung liegen die Grenzen der Fertigungsgenauigkeit derzeit im Bereich einiger Mikrometer.

Bei Anwendung berührungsloser Bearbeitungsverfahren, wie z.B. der Präzisionslaserbearbeitung und in der Oberflächenmesstechnik sind z.T. wesentlich höhere Genauigkeiten erzielbar. Voraussetzung dafür ist eine entsprechend präzise relative Positionierung zwischen Werkstück und Werkzeug bzw. Messtaster. Positioniergenauigkeiten im Sub-Mikrometerbereich sind mit klassischen Positioniersystemen, insbesondere bei mehrachsigen Anordnungen, unter industriellen Fertigungsbedingungen nicht realisierbar.

Deshalb wurden an der IMMS gGmbH, ausgehend von Grundlagenentwicklungen der Technischen Universität Ilmenau im Rahmen verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte planare elektrodynamische Direktantriebe entwickelt und untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen in Folgeentwicklungen ein, die in weiterführenden Projekten gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung, z.B. mit ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH und der Friedrich-Schiller-Universität Jena, realisiert werden konnten.

Aufbau der Direktantriebe

Die planaren elektrodynamischen Direktantriebe bestehen aus drei bzw. vier in einem luftgeführten Aktor symmetrisch angeordneten linearen Direktantrieben, der in den Koordinaten x , y und φ_z mit höchster Struktursteifigkeit und exzellentem dynamischen Verhalten durch ein magnetisches Feld geführt wird. Das Motorkonzept vermeidet mechanischen Führungs- und Lagerelemente sowie elektrische Zuleitungen zum Aktor; lediglich Druckluft- und ggf. Vakuumschläuche werden für die Versorgung der Luftführungen zum Läufer geführt.

Das interne Messsystem ist als Flächenmaßstab (Maßverkörperung) ausgeführt, der in den Aktor unmittelbar unter der Objektebene integriert wurde. Es wird von einem Dreifachsensorsystem optisch abgetastet und ermöglicht somit die Bestimmung der Relativlage und -bewegung des Aktors in allen drei Bewegungsrichtungen x , y und φ_z . Die zentrische Anordnung des Sensorkopfes unterhalb des Läufers gestattet es,

Starting situation

The for years increasing requirements on the precision of components of high-precision engineering, precision technology, micromechanics and MEMS require always improved production methods and more precise machines. At the mechanical production, in particular at primary shaping, forming and metal cutting the limits of production accuracy are currently at a range of some micrometers. At using non-contact processing methods, e.g. precision laser processing and in surface measuring technology partly considerably higher precision values can be achieved. Condition for that is a correspondingly precise relative positioning between workpiece and tool or measuring probe. Positioning accuracies in the sub-micrometer range cannot be realized with classical positioning systems, in particular at multi-axle arrangements, under industrial production conditions. Therefore, planar electrodynamic direct drives were developed and investigated at the IMMS, based on fundamental developments of the TU Ilmenau, within the scope of various research and development projects. The knowledge gained from that were applied to subsequent developments, which could be realized in following projects together with partners from industry and research e.g. with ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH and the Friedrich-Schiller-University Jena.

Structure of direct drives

The planar electrodynamic direct drives consist of three or four linear direct drives symmetrically arranged in an air-guided actuator, which in the coordinates x , y and φ_z is guided through a magnetic field with highest structural stiffness and excellent dynamic behaviour. The motor concept avoids mechanical guiding and bearing elements as well as electric supply to the actuator; merely compressed air and, if necessary, vacuum pipes are -for the supply of the air guides- led to the sli-



Abb. 1: Neuentwickelter planarer elektrodynamischer Direktantrieb PMS 200-4-V3

Fig. 1: Newly developed planar electrodynamic direct drive PMS 200-4-V3

Abbefehler bei ebenfalls zentrischer Lage eines Bearbeitungs- (bei Einsatz als Fertigungsmaschine) oder Antastpunktes (als Messmaschine) weitgehend zu eliminieren.

Eine leistungsfähige LINUX-Steuerung ermöglicht eine vollsynchronen, sub-mikrometeregenaue Bewegung der Achsen bei hohen Bahngeschwindigkeiten. Die Steuerungselektronik und die Regelalgorithmen sorgen einerseits dafür, dass eine hohe Bahngenaugigkeit und andererseits eine hohe Geschwindigkeitskonstanz erreicht werden können.

Die planaren elektrodynamischen Direktantriebe weisen gegenüber klassischen Antrieben folgende Vorteile auf:

- Integration von drei bzw. vier Antriebsachsen in einen Aktor mit insgesamt drei Freiheitsgraden (x, y, φ_z)
- das integrierte 3D-Messsystem für die drei Antriebsbewegungen ist im Aktor unmittelbar unter der Objektebene implementiert
- auf Grund der Verwendung von Luftführungen erfolgt die Aktorbewegung absolut reibungs- und wartungsfrei
- die Positionier- und Bahngenaugigkeit ist abhängig vom verwendeten Messsystem; $1 \mu\text{m}$ (Standard); $0,1 \mu\text{m}$ bei Einsatz spezieller Werkstoffe, Kühlung, Temperaturkompensation u.a.; 1 nm (Laserinterferometer)
- großer Geschwindigkeitsbereich: $20 \mu\text{m/s} \dots 500 \text{ mm/s}$
- hohe Geschwindigkeitskonstanz
- reinraumkompatibel.

Aktuelle Arbeiten

Im Rahmen der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entstand in Zusammenarbeit mit der TETRA GmbH (Ilmenau) eine neue Baureihe mit den Planarantrieben PMS 100-3 (Verfahrbereich $\varnothing 100 \text{ mm}$), PMS 200-4 (Verfahrbereich $\square 200 \text{ mm}^2$) und PMS 250-4 (Verfahrbereich $\square 250 \text{ mm}^2$).

Diese Neuentwicklungen enthalten u.a.

- einen thermische Überwachungsschutz
- eine in die Spulensysteme integrierte Wasserkühlung, die die im Antrieb entstehende Wärme abtransportiert, um einen Wärmeintrag in die Maschine und damit eine Deformation des Stators und der Maßverkörperung zu verhindern
- eine verbesserte Aufhängung der Maßverkörperung
- eine optionale Kompensation von Rasterfehlern per Software
- eine völlig neu entwickeltes Steuerungskonzept auf der Basis eines embedded LINUX-PC einschließlich maschineninterner

der. The internal measuring system is designed as a square measure (material measure), which is integrated into the actuator directly below the object level. It is optically scanned by a triple sensor system and that way allows the determination of the relative position and movement of the actuator in all three directions of movement x, y and φ_z . The central arrangement of the sensor head below the slider allows eliminating most of the Abbe errors at also centric position of a processing (at using as production machine) or measuring point (as a measuring machine).

An efficient LINUX-control system allows a fully synchronized, submicrometer-precise movement of the axes at high path velocities. The control electronics and control algorithms, on the one hand, provide for the achievement of high path accuracy and, on the other hand, high velocity constancy. The planar electrodynamic direct drives in comparison to classic drives offer the following advantages:

- *integration of three or four driving axes into an actuator with 3DOF (x, y, φ_z)*
- *in the actuator the integrated 3D-measuring system is implemented directly below the object level*
- *by using air-guides the actuator movement takes place absolutely frictionless and maintenance-free*
- *the positioning and path accuracy depends on the measuring system used; $1 \mu\text{m}$ (standard); $0,1 \mu\text{m}$ (use of special materials, cooling, temperature compensation, a.o.); 1 nm (laser interferometer)*
- *large velocity range: $20 \mu\text{m/s} \dots 500 \text{ mm/s}$*
- *high velocity constancy / clean room compatible*

Current activities

Within the current research and development work and in cooperation with the TETRA GmbH a new series with planar drives PMS 100-3 (positioning range $\varnothing 100 \text{ mm}$), PMS 200-4 (positioning range $\square 200 \text{ mm}^2$) and PMS 250-4 (positioning range $\square 250 \text{ mm}^2$) came into existence.

This new developments among others contain:

- *thermal control system*
- *water cooling system integrated into the coil systems, through which the heat generated in the drive is dissipated, in order to avoid heat penetration into the machine and with that a deformation of the stator and the material measure*
- *improved suspension of the material measure*
- *optional compensation of material measure errors by software*
- *completely newly developed control concept on the basis of an embedded LINUX-PC*

Datenaufbereitungs- und Kommunikations-elektronik

- weiterentwickelte Regelungsalgorithmen
- eine neue Bedienoberfläche einschließlich erweiterter Bedienfunktionen für LINUX und Windows

Anwendungsgebiete für die Antriebssysteme finden sich derzeit in der

- Laserpräzisionsbearbeitung, insbesondere der Fertigung von Bauteilen für die Mikro-technik und die MEMS sowie medizinischen Produkte, z.B. spezielle medizinische Nadeln und Stents
- Oberflächenmesstechnik und -inspektion

Ausblick

Die Fortsetzung der aktuellen F&E-Aktivitäten dient der

- Vervollkommnung der bisherigen Antriebe und Optimierung der Maschinenparameter
- Optimierung der Fertigungs-, Montage- und InbetriebnahmeprozEDUREN
- Erweiterung des Bedienfunktionen und der Vervollkommnung der Software
- Erschließung neuer Anwendungsgebiete.

Längerfristige Forschungsarbeiten für zukünftige Entwicklungen befassen sich u.a. mit

- der Untersuchung und Realisierung alternativer Antriebsanordnungsvarianten und -prinzipien für größere Verbirbereiche
- der Realisierung der Vakuumtauglichkeit mittels anderer Führungselemente, z.B. durch Einsatz vakuumtauglicher Elemente bzw. der Entwicklung spezieller Magnetlager /-führungen

Leistungsangebot

- Konzipierung und Entwurf neuartiger applikations- und kundenspezifischer Antriebslösungen, Aufbau, Inbetriebnahme und Test der mechatronischen Systeme
- Systemmodellierung/Simulation zur Vorhersage des Systemverhaltens, z.B. mechanische Deformation, der Dynamik und des magnetischen oder thermischen Verhaltens
- Analyse, Test und Optimierung
- Entwicklung applikationsspezifischer Steuerungen, z.B. schneller Bahnsteuerungen für planare Hybridschrittantriebe und kaskadierte Linearachsen
- Adaption geeigneter Sensorik und Steuerungstechnik und Integration in Geräte und Anlagen
- Anpassung vorhandener Direktantriebslösungen an kundenspezifische Applikationen
- Entwicklung komplexer kundenspezifischer Systemlösungen

including machine-internal data pre processing and communication electronics

- *further developed control algorithms*
- *a new operator surface including extended operating functions for LINUX / Windows*

Application ranges for the drive systems are currently found in the

- *laser precision processing, in particular in the production of components for micromechanics and MEMS; medical products, e.g. special medical needles and stents*
- *surface measuring technology and inspection*

Outlook

The research of the R&D activities serves the

- *perfection of current drives and optimisation of machine parameters*
- *optimisation of the production, assembly and commissioning procedures*
- *extension of the operating function and perfection of the software*
- *development of new application areas*

Long-term research work for future development among other things deal with

- *examination and realization of alternative drive arrangement variants and principles*
- *realization of vacuum-suitability by means of other guide elements, e.g. by replacement of the current air guides through vacuum-suitable elements or the development of special magnetic bearings/guides*

Range of services

- *conception and design of new application and customer-specific drive solutions, assembly, commissioning and test of mechatronic systems*
- *system modelling and simulation for the prediction of the system behaviour, e.g. mechanical deformation, the dynamics and the magnetic or thermal behaviour*
- *analysis, test and optimisation*
- *development of application-specific control systems, e.g. fast path control for planar hybrid incremental drives and cascaded linear axes*
- *adaptation of suitable sensorics and control systems and integration into devices and equipments*
- *adjustment of existing direct drive solutions to customer-specific applications*
- *development of complex customer-specific system solutions*

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Frank Spiller

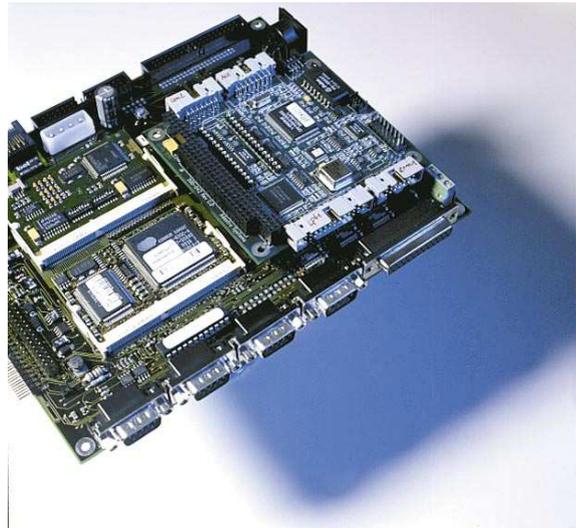
Tel.: +49 (3677) 69-5561

E-Mail: frank.spiller@imms.de

System Design

System Design

Die Arbeiten im Themenbereich „System Design“ folgten im Jahr 2005 der bewährten Ausrichtung auf den Entwurf und die Realisierung komplexer eingebetteter Systeme. Diese Aktivitäten vollziehen sich stärker als je in Einheit von Hardware-, Software- und Kommunikationskomponenten. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Forschungsaufgaben wurden dabei konsequent entsprechend der sich abzeichnenden Trends und Bedürfnisse ausgerichtet und entwickelt. Diese sind vorrangig von der aktuellen Tendenz zur Vernetzung von Systemen in der Informations- und Kommunikationstechnologie geprägt. So werden für nahezu alle denkbaren Einsatzgebiete in naher Zukunft drahtlose Technologien zur Verfügung stehen. Dabei wirken sich die Bestrebungen hin zur digitalen Fabrik, zur Heimvernetzung / Smart Home, zur personennahen Kommunikation sowie zur Gewährleistung eines hohen Sicherheitsstandards durch Einsatz umfassender Sensorik im Automobil beschleunigend aus. Als spezielles Teilgebiet wird sich dabei die drahtlose Kommunikation von Maschinen, Fahrzeugen, Anlagen miteinander oder einer zentralen Leitstelle, auch als Maschine-zu-Maschine-Kommunikation oder M2M bezeichnet besonders stark entwickeln. Nach [1], soll die Anzahl der mobilen M2M-Sessions die Zahl der Mobilkontakte zwischen Personen um einen Faktor 30 übersteigen. Typische Einsatzfelder für diese Technologie liegen in den Bereichen Transport, Logistik, Flottenmanagement, Fernüberwachung, Fernsteuerung, Fernmessung, Sicherheitstechnik bzw. Gesundheitswesen. Eine weitere wesentliche Wachstumsbranche zeichnet sich auf dem Gebiet der Integration von Sensoren in eine bestehende Kommunikationsinfrastruktur ab. Dies kann durch Realisierung sensornaher Signalverarbeitung, d.h. Entwicklung von Smart-Sensoren einschließlich der Systemspezifikation, durch drahtgebundene Sensorankopplung für mittlere und hohe Datenraten (z.B. über Ethernet, IEEE 1394, CAN) oder durch drahtlose Sensoranbindung für geringe Datenraten (bei Übertragung extrahierter Merkmale) und energiesparenden Anwendungen (IEEE 802.15.4, ZigBee) erfolgen. Auch wird die Busfähigkeit von Sensoren eine zunehmende Rolle spielen. Den zu beobachtenden Trends Miniaturisierung, steigende Komplexität, Vernetzung zu Multisensorsystemen, Systemintegration mit „on-Chip-Sensorik“, steigende Performanz, drahtlose Vernetzung und Standardisierung gilt das Augenmerk unserer Forschungsarbeiten. Die Systemintegration von Sensorik als ein Schritt, elektronische Funktionseinheiten intelligenter zu machen, wird im Zusammenhang mit der zuneh-



In 2005, the work at the „System Design“ department followed the proven orientation on the design and realization of complex embedded systems. These activities are more than ever carried out in unity of hardware, software, and communication components. In the course of this, the content-wise emphasis has consequently been oriented and developed in accordance with the evident trends and demands. These are characterized primarily by the current tendency to interconnect systems in the information and communication technologies. For the near future, it is thus expected that wireless technologies will be available for all conceivable areas of application. In conjunction with this, efforts towards the digital plant, home networking/Smart Home, personal-area communications as well as towards providing a high level of safety through the application of comprehensive sensorics within vehicles have an accelerating impact. Wireless communications among machines, vehicles, among facilities or in between facilities and a central control center, also known as machine-to-machine communications or M2M, will represent a sub-area of particularly strong development. According to [1], the number of mobile M2M sessions is expected to exceed the number of mobile contacts among persons by a factor of 30. Typical areas of application of this technology are found in transportation, logistics, fleet management, remote monitoring and control, telemetry, safety technology, and health service.

Another substantial growing industry is emerging in the area of integration of sensorics into existing communication infrastructures. This may be achieved through the realization of sensor-level signal processing, i.e., the development of smart sensors including the system specification, through wireless attachment of sensors for

menden Vernetzung bis hin zur durchgängigen Kommunikation in besonders markanter Weise unser erlebbares Umfeld prägen. In diesem Zusammenhang ist auch der derzeitige rasante Aufschwung der RFID-Technologie zu werten, die im weiteren Sinne spezielle Sensorsignale bereit stellt und damit leicht in den beschriebenen Kontext einzuordnen ist.

Entsprechend dieser sich abzeichnenden Entwicklungsrichtungen wurden 2005 die Forschungsarbeiten des Bereichs auf drei thematische Schwerpunkte ausgerichtet.

Auf dem Gebiet der **Optimierung von Plattformen für industrielle Einsatzfälle** bildeten Fragen der Hardware-Modellierung und -Realisierung auf verschiedenen Zielplattformen den inhaltlichen Schwerpunkt. Diese können z.B. ASIC, FPGA oder komplette PCB-Designs umfassen, wurden aber auch um Betriebssysteme wie Echtzeit-Linux oder eCos erweitert. Neben Formfaktoren wurden auch Performanzattribute wie die Bootzeiten - bei eingebettetem Linux situationsabhängig bis herunter auf Werte von 2,4 s - optimiert.

Die Arbeit im Forschungsschwerpunkt **Informations- und Kommunikationstechnologie** ist vor allem der industriellen Kommunikation gewidmet. Werden z.B. oben beschriebene Sensornetzwerke in der sehr energieeffizienten ZigBee-Technologie realisiert, ist es nur folgerichtig, Wege zur autarken Energieversorgung solcher Einheiten zu suchen, um diese dann völlig autonom betreiben zu können. Hierzu wurden sowohl Grundlagenuntersuchungen durchgeführt als auch praktische Umsetzungen der gewonnenen Erkenntnisse erfolgreich getestet. Weiterhin wurden für industrielle Steuerungen die Ansätze zum Einsatz von Echtzeitbetriebssystemen und Echtzeitvernetzungen weiter verfolgt und praktisch untersetzt. Wesentliche Innovationen wurden auch mit der Erschaffung einer Bibliothek zur einheitlichen Zugriffsgewährung auf verschiedene konkrete Hardwareplattformen und Geräte für Kommunikationsanwendungen sowie mit der Etablierung einer Technologie zur Fernkonfiguration über eine Luftschnittstelle realisiert.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die **Entwicklung hocheffizienter Entwurfsabläufe**. Hier stehen sowohl die Hardware-Entwurfsmethodik (modellbasierter Entwurf) als auch Softwareaspekte moderner eingebetteter Systeme im Mittelpunkt des Interesses. Letztere umfassen Entwurfsmethodik mit modellbasierten Technologien, Treiber- und Plattformunterstützung sowie Entwicklung echtzeitfähiger Applikationen. Konsequenterweise wurde der Einsatz von MATLAB/Simulink als Einstiegspunkt und weitere auto-

moderate and high data rates (e.g. via Ethernet, IEEE 1394, CAN), or through wireless sensor attachment for low data rates (when transferring extracted features) and low-power applications (IEEE 802.15.4, ZigBee). Furthermore, the bus capability of sensors will play an increasingly important role. The focus of our research is on the observable trends of miniaturization, growing complexity, multi-sensor systems formed by interconnection of sensors, system integration with „on-chip sensorics“, increasing performance, wireless networking, and standardization. System integration of sensorics as one step in making electronic functional units more intelligent in conjunction with the increasing interconnection, finally resulting in seamless communications, will characterize our experienceable environment in a particularly distinctive way. The current tremendous upswing in RFID technology, which in a generalized way provides a particular kind of sensor signals, is also to be seen as a part of this picture and thus easily attributable to this context.

In 2005, the research at the department was focused on three major topics in accordance with these emerging trends.

*In the area of **optimizing platforms for industrial applications**, hardware modeling and realization on various target platforms represented the content-wise focus. These may comprise, e.g., ASIC, FPGA, or complete PCB designs but have also been extended by operating systems such as real-time Linux or eCos. Besides form factors, performance attributes such as boot-up times have been optimized - down to a situation-dependent minimum of 2.4 s with embedded Linux.*

*The work within the research focus on **information and communication technology** is primarily dedicated to industrial communications. When, e.g., realizing sensor networks such as those described above using the highly energy-efficient/-conserving ZigBee technology, it is only logical to search for ways of autonomously powering such devices in order to be able to deploy them completely autonomously. To this end, basic studies have been conducted and practical realizations of the resulting findings have been tested successfully. In addition to this, approaches regarding the application of real-time operating systems and real-time networking have been pursued further and put into practice. Significant innovations have also been realized through the development of a library providing uniform access to a variety of specific hardware platforms and devices for communication applications as well as through the establishment of a technolo-*

matische Codegenerierung für verschiedene Zielplattformen weiter entwickelt. In diesem Zusammenhang ist auch auf das zur BMBF-Förderinitiative Ekompas gehörende Forschungsprojekt SpeAC II zu verweisen, welches 2005 erfolgreich abgeschlossen und für den Jean-Pierre-Noblanc-Award for Excellence nominiert wurde.

Auch im Jahr 2005 hat sich die Erfahrung bestätigt, dass eine erfolgreiche Durchführung von Projekten zur Entwicklung eingebetteter Systeme zwingend ein enges Zusammenwirken von Kompetenzträgern aller drei Forschungsgebiete erfordert.

Ein Charakteristikum bei der Arbeit im Themenbereich besteht in dem Bemühen, weitgehend Open-Source-Technologien (Linux, eCos) für die Entwicklung kundenspezifischer Produkte zu nutzen. Dazu wurde ein thematischer Workshop für Interessenten aus Industrie und Forschung angeboten, der breite Resonanz fand und als Auftakt eines Veranstaltungszyklusses zur Überleitung aktueller Forschungsergebnisse in die Schaffung innovativer Produkte anzusehen ist.

Eine praktische Umsetzung der Erfahrungen und Fertigkeiten erfolgte 2005 in der industrietauglichen Realisierung einer weiteren linuxbasierten Steuerung für einen mechatronischen Präzisionsantrieb der neuesten Generation mit hoher Dynamik und Positioniergenauigkeit (s. S. 20).

Darüber hinaus wurde eine innovative Lösung zur drahtlosen Sensorvernetzung mittels drahtloser Nahbereichstechnologie (IEEE 802.15.4) in Zusammenarbeit mit einem industriellen Partner realisiert und an Hand eines praktischen Demonstrators auf einer Fachmesse der Öffentlichkeit vorgestellt. Neben den Forschungsaktivitäten weisen auch die Industrieprojekte einen hohen innovativen Gehalt aus, wie ein großer Anteil der unter NDA laufenden Arbeiten ausweist. Die F&E-Aktivitäten des Themenbereiches wurden in nationalen und internationalen Vorträgen und Zeitschriftenbeiträgen publik gemacht.

[1] M2M ist im Aufschwung. ELEKTRONIKPRAXIS Nr. 21, 2.11.2004, S. 30

gy for remote configuration via an air interface.

*Another main focus consists in the **development of highly efficient design flows**. Regarding this, both hardware design methodology (model-based design) and software design aspects of modern embedded systems are at the center of attention. The latter ones include the design methodology including model-based technologies, driver and platform support, and the development of real-time-enabled applications. The application of MATLAB/Simulink as a starting point and further automated code generation have consequently been developed further for various target platforms. In this context, the SpeAC II research project, part of the Ekompas initiative sponsored by the German Ministry of Education and Research (BMBF), has successfully been concluded in 2005 and nominated for the Jean-Pierre Noblanc Award for excellence.*

In 2005, as throughout the preceding years, the experience was confirmed that a successful conduction of projects in the area of the development of embedded systems necessarily requires a close cooperation of experts from all three of the areas of research. One characteristic during the work within the department consists in the aim to primarily employ open-source technologies (Linux, eCos) in the development of customer-specific solutions. In order to supplement this, a thematic workshop has been held for interested parties from both industry and research which found broad resonance and served as the start of a cycle of events aiming to transfer the results of current research into the creation of innovative products.

A practical realization of the experiences and capabilities was created in 2005 through the development of another industrial-grade Linux-based control for a mechatronic precision drive of the newest generation with high dynamics and positioning precision (see p. 20).

Besides this, an innovative solution for wireless sensor attachment using wireless close-proximity technologies (IEEE 802.15.4) was developed in cooperation with industrial partners and introduced to the public using a practical demonstrator at a trade fair. In addition to the research activities, the industrial projects also exhibit highly innovative aspects, evidenced by a large proportion of projects done under NDAs. The R&D activities of the department are made public in national and international talks and articles in magazines.

Ansprechpartner / Contact:

PD Dr.-Ing. habil. Hannes Töpfer

Tel. +49 (3677) 69-5540

E-Mail: hannes.toepfer@imms.de

Entwicklung hocheffizienter Entwurfsabläufe

Development of Highly Efficient Design Flows

Der Entwurf von eingebetteten Systemen kann angesichts ihrer wachsenden Größe und Komplexität in der heutigen Zeit nur noch mit Hilfe von leistungsstarken Werkzeugen erfolgen. Daher ist es anstrengenswert, den Grad der Entwurfsautomatisierung beständig zu erhöhen und damit die Durchgängigkeit des Entwurfs weitestgehend rechnergestützt zu gewährleisten. Diesem Themenkomplex sind traditionell Forschungsaktivitäten des Bereiches System Design gewidmet. Ein bewährter Ansatz dazu besteht in der Erhöhung des Abstraktionsgrades beim Einstieg in den Entwurfsablauf. Im Themenbereich System Design wird als zentraler Einstiegspunkt in den Systementwurf MATLAB/Simulink verwendet. Ein damit entworfenes Modell lässt sich nicht nur simulieren und validieren. Der dazugehörige Real Time Workshop ist ein Werkzeug, mit dem man aus einem Modell Code generieren kann. Zur Erweiterung der adressierbaren Hardwareplattformen wurde 2005 eine Methode entwickelt, um eine solche Applikation auch unter dem Echtzeitbetriebssystem eCos ausführen zu können. Eine besondere Eigenschaft dieses Systems ist die individuelle Anpassung der Funktionen, die eCos zur Verfügung stellt. Dadurch arbeitet es in Sachen Speicherbedarf sehr effizient.

Um einen zusätzlichen Freiheitsgrad zu schaffen, wurde dieses Konzept für solche Hardwareplattformen entwickelt, die auch konfigurierbar sind. Dabei befindet sich in einem „Field Programmable Gate Array“ (FPGA) ein Mikroprozessorkern (NIOS) (Abb. 1). Die Verbindungen zur Peripherie sind variabel und erweiterbar. Es lassen sich also auch Funktionen in Hardware realisieren. Angeschlossene Komponenten wie z. B. ein Ethernet-Controller oder ein A/D-Wandler machen ein solches System vielseitig einsetzbar. Eine Anwendungsmöglichkeit ist ein Steuerungsmodul, welches über eine Netzwerkverbindung überwacht wird. Mit diesem entwickelten Lösungsansatz lassen sich diverse Steuer- und Regelungsaufgaben sowohl übersichtlich darstellen als auch beherrschen. Eine Änderung im Modell kann in kürzester Zeit auf die Zielplattform übernommen werden.

Ein weiterer methodischer Ansatz, der im Themenbereich verfolgt und entwickelt wird, besteht im Einsatz von SystemC – einer Sprache, die ein Electronic System Level Design (ESL) ermöglicht. Dazu wurden praktisch einsetzbare Lösungen erarbeitet. Insbesondere Verfahren zur Behandlung analoger Zusammenhänge, die in heterogenen Systemen mit sowohl digitalen als auch analogen Bestandteilen auftreten, wurden konsolidiert.

In light of the growing size and complexity of embedded systems, their design can nowadays only be managed using powerful tools. It is therefore desirable to continuously increase the degree of design automation and thus ensure the seamlessness of the design in a mostly computer-aided way. This range of topics is a traditional focus of research activities of the System Design department. A proven approach to this consists in an increase of the level of abstraction when entering the design flow. At the department of System Design, MATLAB/Simulink is employed as a central starting point in designing systems. A model designed this way cannot only be simulated and validated. The related Real Time Workshop is a tool which can be used to generate code based on a model. In order to expand the range of addressable hardware platforms, a method has been developed in 2005 which allows for such an application to be executed on the eCos real-time operating system. One special property of this system lies in the adaptability of the functions offered by eCos. Thus it operates very efficiently inasmuch as memory requirements are concerned.

In order to create an additional degree of freedom, this concept has been developed for hardware platform that are also configurable (Fig. 3). In this case, a micro-processor core (NIOS) is located within a Field Programmable Gate Array (FPGA). Peripheral connections are variable and extensible. This way, functions can alternatively also be realized in hardware. Attached components such as an Ethernet controller or A/D converter make it possible to deploy such a system in a wide variety of scenarios. One possible application is as a control module monitored via a network connection. Using this approach, various (discrete and continuous) control tasks can be described more clearly and even become manageable at all. A modification made to the model can quickly be carried over to the target platform. Another methodical approach pursued and developed at the department consists in the application of SystemC - a language which allows Electronic System Level Design (ESL).

In this context, practically-applicable solutions have been developed; in particular, methods dealing with analog aspects occurring in heterogeneous systems with both digital and analog components have been consolidated.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. Wolfram Kattaneck

Tel.: +49 (3677) 69-5544

E-Mail: wolfram.kattaneck@imms.de

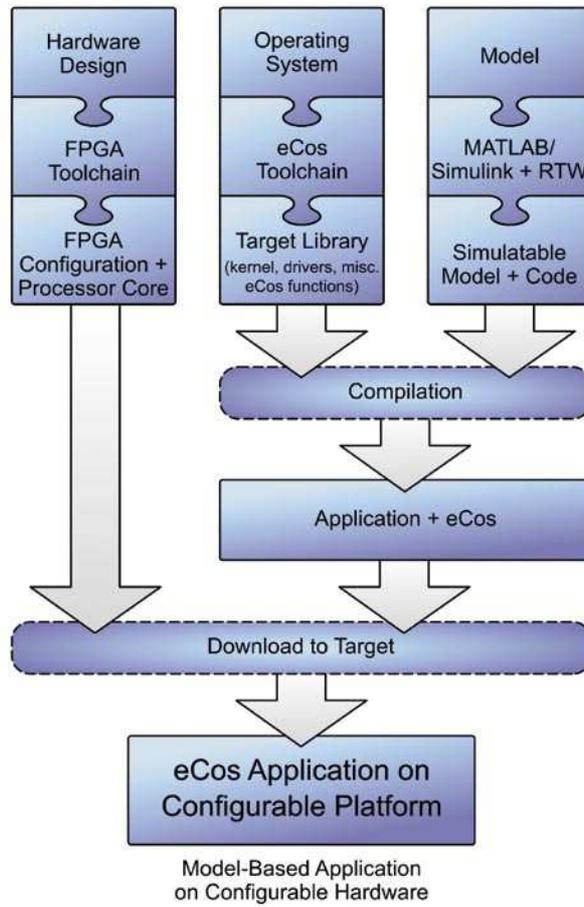


Abb. 1: Modellbasierter Entwurfsablauf für eine eCos-NIOS-Plattform
Fig. 1: Model-based design flow for an eCos-NIOS platform

Moderne Ansätze zum System Design mit Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnologie / *Modern Approaches to System Design Using Components of Information and Communications Technology*

Bei der Entwicklung eingebetteter elektronischer Systeme kommt der Zeitspanne von der Spezifikation bis zum funktionsfähigen Prototypen eine entscheidende Rolle zu. Eine wesentliche Produktivitätssteigerung kann durch den Einsatz von Betriebssystemen erreicht werden. Diese führen zu einer Entkopplung der Anwendung von der zu Grunde liegenden Hardware. In Anbetracht der starken Diversifikation möglicher Systembestandteile stellt jedoch deren Einbindung in das verwendete Betriebssystem eine Herausforderung dar. Um dieser gerecht zu werden wurde das Common Components Framework (CCFW) entwickelt. Es stellt eine Basis für die plattformunabhängige Entwicklung von Anwendungen im Umfeld eingebetteter Systeme dar. Das C++-basierte Framework ermöglicht es dem Anwendungsentwickler, sich vordergründig auf die Anwendung als solche und nicht auf plattformspezifische Implementationsdetails zu konzentrieren.

Das Framework definiert verschiedene Module (Abb. 1), die funktional verwandte Elemente zusammenfassen. Da auf eingebetteten Systemen mit spezialisierten Betriebssystemen (wie z.B. eCos) oftmals die Standard Template Library (STL) als wesentliches Element C++-basierter Softwareentwicklung nicht verfügbar ist, stellt der Kern des Frameworks eine grundlegende Softwareentwicklungsinfrastruktur bereit, wie z.B. eine Hierarchie effizient implementierter Containerklassen, eine für eingebettete Belange optimierte String-Klasse und eine Debugging-Infrastruktur. Optionale Module bieten Unterstützung für beispielsweise serielle Schnittstellen, Modems, GPS-Receiver, Netzwerkkommunikation und Datei-Ein-/Ausgabe.

Die gesamte Funktionalität des Frameworks wurde so implementiert, dass das Framework für verschiedene Zielplattformen und -architekturen, wie beispielsweise Linux und eCos, kompilierbar ist und an spezifische funktionale Belange angepasst werden kann. Verschiedene Konzepte tragen dabei auch zur leichten zukünftigen Portierbarkeit auf weitere Plattformen bei.

Der Nutzeffekt dieser Plattformunabhängigkeit äußert sich besonders darin, dass Anwendungen, die auf dem CCFW aufbauen, unverändert auf verschiedenen durch das Framework unterstützten Plattformen lauffähig sind. Hierzu müssen lediglich Framework und Anwendung für die jeweilige Zielplattform kompiliert werden.

During the development of embedded electronic systems, the period of time from specification to functioning prototype plays a crucial role. A significant increase in productivity can be achieved through the application of operating systems. These lead to a decoupling of applications from the underlying hardware. In light of the pronounced diversification of possible system components, the latter's integration into the employed operating system represents a challenge. In order to accommodate this, the Common Components Framework (CCFW) has been developed. It forms a basis for platform-independent application development within the context of embedded systems. The C++-based framework allows the application developer to primarily focus on the application itself instead of concentrating on platform-specific implementation details. The framework defines various modules (Fig. 1) encapsulating functionally-related elements. Since embedded system with specialized operating systems (such as eCos) often lack the Standard Template Library (STL) as an important element of C++-based software development, the core of the framework provides a basic software development infrastructure including, e.g., a hierarchy of efficiently-implemented container classes, a string class optimized for embedded concerns, and a debugging infrastructure. Optional modules provide support for, e.g., serial interfaces, modems, GPS receivers, network-based communications, and file-oriented input and output.

All of the framework's functionality has been implemented in such a way that the framework can be compiled for different target platforms and architectures, such as Linux and eCos, and tailored to specific functional requirements. Various concepts have been applied to facilitate the portability of the framework to additional platforms. The benefit of this platform independence is evidenced by the fact that applications building upon the CCFW can be executed on various platforms supported by the framework without modification. It suffices to compile both the framework and the application for the target platform at hand.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Inf. Marco Götz

Tel.: +49 (3677) 69-5542

E-Mail: marco.goetze@imms.de

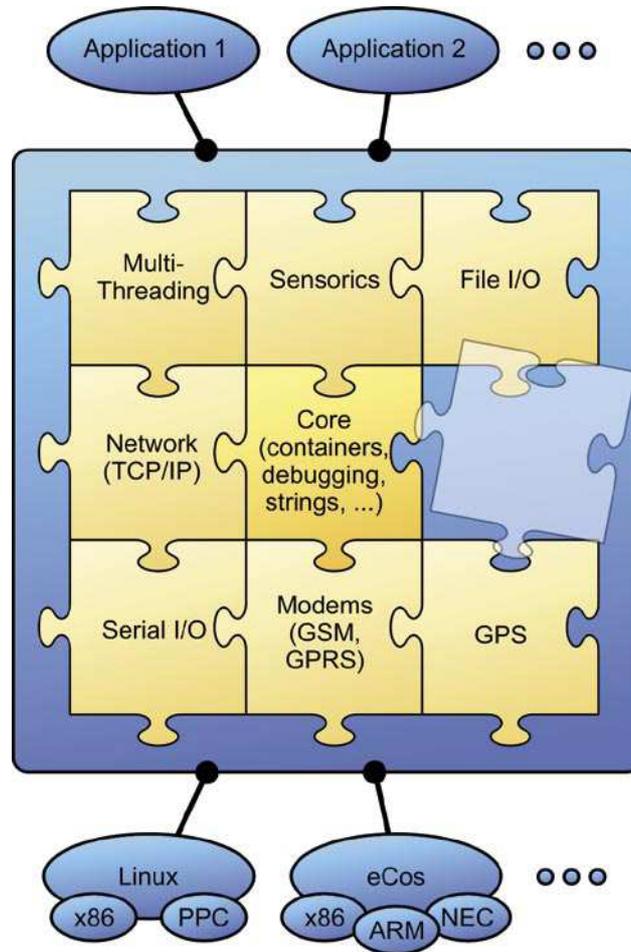


Abb. 1: Struktur und Rolle des CCFW in der Anwendungsentwicklung
Fig. 1: Structure and role of the CCFW in the development of applications

Drahtlose Sensorvernetzung *Wireless Sensor Networking*

Im Bereich der Kommunikation ist eine zunehmende Verlagerung von konventionellen stationären Computern mit drahtgebundener, zentralisierter Vernetzung hin zum massiven Einsatz mobiler, drahtloser Kommunikationseinheiten zu verzeichnen. Moderne Funkstandards für lizenzfreie Datenübertragung mit geringer Stromaufnahme gewährleisten lange Betriebszeiten und sind damit optimal geeignet, Umweltinformationen -- über Sensoren erfasst -- weiterzuleiten. Zu vielversprechenden Vertretern mit geringer Reichweite (Short-Range Wireless-Netzwerke oder Wireless Personal Area-Netzwerke) gehören dabei Netzwerke nach ZigBee / IEEE 802.15.4 mit Anwendungen in der Überwachung von Sensoren in verschiedenen Bereichen wie der Hausautomatisierung oder der Güterüberwachung im Bereich der Logistik. Sie sind so konzipiert, dass ein langandauernder Betrieb möglich ist. Solche Knoten des Sensornetzwerks werden zukünftig energieeffizient, klein, billig, zuverlässig und flexibel zum Sammeln von Daten einsetzbar und wartungsarm zu betreiben sein. In Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung (GBS) mbH Ilmenau wurde unter Verwendung dieser Technologie ein visuelles Qualitätskontrollsystem realisiert, welches sich durch berührungsloses Messen, einfaches Auslesen und einfache Installation auszeichnet (Abb. 1). Dabei wird die optisch erfasste Wandstärke von Glasrohren als extrahiertes Merkmal per Funk auf eine mobile Ausleseeinheit übertragen. Das Gerät zur visuellen Qualitätssicherung wurde in rauer und elektromagnetisch gestörter Umgebung erfolgreich getestet.

In the area of communications, an increasing shift from conventional stationary computers with wired, centralized networking towards the massive deployment of mobile, wireless communication units can be observed. Modern wireless standards for license-free low-power transmissions enable long operation times and are thus optimally-suited to forward environmental information gathered via sensors. Promising short-range (also known as Wireless Personal Area Networks) networks include those according to the ZigBee standard (IEEE 802.15.4) with applications in sensor monitoring in various areas, such as house automation or cargo surveillance in logistics. They are designed in such a way that long-lasting operation is possible. In the future, such nodes of sensor networks will represent an energy-efficient, small, inexpensive, reliable, and flexible option for data acquisition that can be deployed with little subsequent maintenance.

In cooperation with the Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung (GBS) mbH Ilmenau, this technology was employed to realize a visual quality control system which features touchless measuring, easy data retrieval, and simple installation (Fig. 1). This system wirelessly transmits the optically-determined wall thickness of glass pipes as an extracted feature to a mobile data display unit. The device for visual quality control has successfully been tested in a rough and electromagnetically jammed environment.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Axl Schreiber

Tel.: +49 (3677) 69-5545

E-Mail: axl.schreiber@imms.de



Abb. 1: Komponenten des visuellen Qualitätskontrollsystems und Einsatz im Wandstärkemessgerät WS 10

Fig. 1: *Components of the visual quality control system and their deployment in the wall thickness measurement device WS 10*

Mikroelektronische Schaltungstechnik

Circuit Technology / Microelectronics

Bei der Entwicklung der IMMS gGmbH gehen wir davon aus, dass:

- die Mikroelektronik auch in den nächsten 10 Jahren **der** entscheidende Innovations-treiber bleibt
- die klassischen mikroelektronischen Techno-logien nach wie vor wichtigste Grundlage zur Realisierung komplexer technischer Systeme und deren Innovation bleiben
- die Realisierung der Systeme auf einem Chip in Silizium nur auf der Grundlage der Verbindung vieler physikalischer Disziplinen möglich ist.

Im Jahre 2005 wurden die Kompetenzgebiete der IMMS gGmbH im integrierten Schaltungs-entwurf kontinuierlich weiterentwickelt:

- Entwurf optoelektronischer Schaltungen, insbesondere Leseeinheiten/Lasertreiber für DVDs mit blauem Laser und schnelle Treiber und monolithische Empfänger für optische Datenübertragung im automotive Bereich
- Hochtemperatur-SOI-Schaltungen
- HF-Schaltungen (speziell kalibrierbare De-modulatoren und HF-Library-Zellen)
- Anwendung der formalen Verifikation auf digitale und mixed Signal Schaltungen
- Optimierung von Pipeline-ADCs unter Nutzung von Verhaltensmodellen
- Test optoelektronischer und mikromechanischer Sensoren
- Simulation und Optimierung des ESD-Verhaltens integrierter Schutzstrukturen

Zur Optimierung und Verbesserung der Spezifikationen analoger Schaltungsmodule wurden die neuesten EDA-Verfahren eingesetzt und an deren Weiterentwicklung geforscht. Forschungsschwerpunkte bildeten die symbolische Analyse, formale Verifikation, Designzentrierung und Ausbeuteoptimierung.

Ergebnis dieser Arbeiten waren Labormuster und Prototypen, die unmittelbare Grundlage für die industrielle Anwendung sind. Aus der breiten Orientierung der Forschungen auf die Erfordernisse und Anwendbarkeit für Industrieunternehmen resultierte 2005 ein weiter erhöhter Anteil von direkten Industrieaufträgen bei sinkendem Anteil öffentlich geförderter Forschungsprojekte. Die IMMS gGmbH ist in der Lage schnell und effizient auf langfristigen Anforderungen der Industrie an innovative integrierte Systeme durch Vorlaufforschungen zu reagieren. Um die ökonomische Tragweite des Einsatzes integrierter Schaltungen zur Sicherung von hochwertigen Arbeitsplätzen und für die Entwicklung innovativer Produkte darzustellen und zu stärken, arbeiteten die Wissenschaftler des Instituts ehrenamtlich in vielen Gremien mit (s. S. 11).

In the development of the IMMS gGmbH we assume that:

- *also in the next 10 years microelectronics will be the decisive innovation driver*
- *the classic microelectronic technologies will still be the most important foundation for realization of complex technical systems and their innovation*
- *the realization of systems on a chip in silicon will only be possible on the basis of the connection of many physical disciplines.*

In the year of 2005 the competence fields of the IMMS gGmbH in integrated circuit design were under continuous development:

- *design of optoelectronic circuits, in particular readers and laser drivers for DVDs with blue laser and fast drivers and monolithic receivers for optical data transmission for automotive applications*
- *high-temperature SOI-circuits*
- *RF-circuits (special demodulators with calibration and RF-library cells)*
- *application of the formal verification on digital and mixed-signal circuits*
- *optimisation of pipeline ADCs by using behaviour models*
- *Test of optoelectronic and micromechanical sensors*
- *simulation and optimisation of the ESD behaviour of integrated protective structures*

For the optimisation and improvement of the specifications of analogue circuit modules the latest EDA-methods were used and research activities on their further development were carried out. Research emphases were put on symbolic analysis, formal verification, design centering and yield optimisation.

All these activities resulted in laboratory samples and prototypes, which are the direct basis for the industrial application. From the wide orientation of research work to the requirements and applicability for industrial companies a further increased share in direct industrial orders at a decreasing share of publicly sponsored research projects was the result in 2005.

Through future-oriented research work the IMMS gGmbH is able to react quickly and efficiently on long-term requirements of the industry on integrated systems. In order to make the economic advantages of the use of integrated circuits for securing high-quality workplaces and the development of innovative products understandable to the public and in conclusion correspondingly strengthen these pillars of today's technical development by giving support, the research staff of the institute has been working on a honorary

Sehr gute Forschungsergebnisse konnten in den zahlreichen EG- (MEDEA), BMBF- und TMWTA-unterstützten Forschungsprojekten erzielt werden. Die Meilenstein-Deliverables und Berichte dieser Projekte dokumentieren sehr gut die erzielten Forschungsergebnisse. Wichtige Projekte waren SIDRA, DETAILS, ANASTASIA+, ATHIS, TOPOLOGIE, MODAS, SPEAK, VALSE-XT, SOI-Auto, FEDSOC (s. S. 10).

Die Forschungsleistungen wurden bei konstanter Mitarbeiterzahl mit kompetenter Unterstützung von Diplomanden (2) und Praktikanten (6) erarbeitet. Intensiv wurde 2005 in zwei Promotionsvorhaben geforscht.

Für den Zeitraum bis 2013 werden strategische Ziele anvisiert und geplant, die zur Verwirklichung u.a. eine Verdopplung der Mitarbeiterzahl beinhalten.

Inhaltlich werden zukünftig die Schwerpunkte der IMMS gGmbH sein:

- Erhöhung der Modellgenauigkeit und Verbesserung der Extraktionsroutinen
- Entwicklung von Präzisions-Analog-Schaltungen und -Modulen unter Einbeziehung mathematischer Verfahren (DSP)
- Syntheseverfahren für innovative analoge Schaltungskonzepte unter Nutzung analoger IP-Cores
- HF-Schaltungen für höhere Frequenzen (Nahzeitraum 6 GHz)
- Methoden zur Entwicklung von Systems on Chip, Systems in Packaging, heterogenen Systemen
- Vervollkommnung der optoelektronischen Sensorik
- Sensornetze – magnetische, optische und mikromechanische Sensoren und ihre Einbindung in drahtgebundene und drahtlose Netzwerke
- Test komplexer mixed Signal Systeme unter Einbeziehung nichtelektrischer Parameter
- fehlerredundante Systeme

basis in many associations (see p. 11).

Very good research results could be achieved in the numerous EC- (MEDEA), BMBF- and TMWTA-supported research projects. The milestone deliverables and reports of these projects excellently document the research results achieved. Important projects were SIDRA, DETAILS, ANASTASIA+, ATHIS, TOPOLOGIE, MODAS, SPEAK, VALSE-XT, SOI-Auto, FEDSOC (see p. 10).

The research performances were achieved with a constant number of staff members with the competent support of students about to take their diploma (2) and trainees (6). In 2005 intensive research work was done in two promotion projects.

For the period until 2013 strategic goals are envisaged and planned, which for realization among others contain doubling of the number of staff members. In future the IMMS gGmbH will concentrate on the following emphases:

- *increase in the model accuracy and improvement of the extraction routines*
- *development of the precision analogue circuits and modules by integration of mathematical methods (DSP)*
- *synthesis processes for innovative analogue circuit concepts by using analogue IP-cores*
- *RF-circuits for higher frequencies (short-range period 6GHz)*
- *Methods for the development of systems on chip, systems in packaging, heterogeneous systems*
- *Perfection of optoelectronic sensorics*
- *Sensor networks - magnetic, optical and micromechanical sensors and their integration into wire-bound and wireless networks*
- *Testing complex mixed signal systems by integration of non-electric parameters*
- *error-redundant systems*

Ansprechpartner / Contact:

Prof. Dr. sc. techn. Franz Rößler

Tel.: +49 (361) 427-6639

E-Mail: franz.roessler@imms.de

Konzept einer Schaltungs-Topologiedatenbasis

Concept of a circuit topology data base

TMWTA, B 509-05002

Einleitung

Der Entwurf analoger integrierter Schaltungen ist auch heute noch eine große Herausforderung an die Kreativität und das Wissen der Ingenieure. Es sind in der letzten Zeit zwar sehr leistungsstarke Tools entwickelt worden, aber eine durchgehende Automatisierung, wie beispielsweise beim Digitalentwurf, ist noch nicht abzusehen.

Der analoge Schaltungsentwurf beginnt mit der Entklung oder Auswahl einer Topologie (Schaltplan) mit dem in der Systemspezifikation geforderten Verhalten. Im nächsten Schritt werden für die Bauelemente entsprechende Modelle des späteren Herstellungsprozesses ausgewählt. Diese Modelle können meist durch Parameter angepasst werden, wie zum Beispiel Längen und Weiten von MOS-Transistoren. Durch Verändern der Parameter wird die Schaltung solange optimiert, bis sie das gewünschte Verhalten zeigt. Führt diese Dimensionierung nicht zum Ziel, muss eine andere Topologie gewählt werden. Mit der Zeit entstehen so für bestimmte Anwendungsfälle bewährte Topologievarianten, die zum Teil veröffentlicht werden oder aber zum Know-how einer Firma oder eines Ingenieurs gehören. Die Idee für dieses Projekt ist es, die Topologien in einer Datenbasis zu sammeln und über komfortable Such- und Auswahlalgorithmen für viele Ingenieure nutzbar zu machen. Mit den Tools aus dem gerade abgeschlossenen Projekt ANASTASIA kann aus der Topologie eine Schaltung mit vorgegebenem Verhalten für eine bestimmte Herstellungs-Technologie erstellt werden.

Im Rahmen des TMWTA Förderprojekts „Grundlagen einer Schaltungstopologiedatenbasis für Analogschaltungen“ sind die Möglichkeiten untersucht worden, wie Topologien von analogen Schaltungen in einer anderen Technologie und unter anderen Umgebungen wiederverwendet werden können.

Das Verfahren kann grob in „Abstraktion“ (Analyse) und „Konkretisierung“ aufgeteilt werden. Der Begriff „Synthese“ wird bewusst nicht verwendet, da dieser bereits für die automatische Schaltungsgenerierung aus einer Systembeschreibung benutzt wird.

Architektur

Aus den Erfahrungen bisheriger Projekte ist die Hemmschwelle zur Benutzung neuer Methoden am geringsten und die Akzeptanz des Benutzers am größten, wenn keine umständliche Softwareinstallation vorgenommen werden muss. Deshalb wurde die Architektur des Topologieprojekts als verteiltes System angelegt. Der Benutzer

Introduction

Today the design of analogue circuits still is a great challenge on creativity and knowledge of the engineers. Although recently very efficient tools have been developed, a complete automation, as for example at digital design, is not yet in sight.

The analogue circuit design starts with the development or selection of a topology (circuit diagram) with the behaviour required in the system specification. In the next step corresponding models of the later manufacturing process are selected for the component parts. In most cases these models can be adapted through parameters, as for example lengths and widths of MOS-transistors. By changing the parameters the circuit is optimised until it shows the desired behaviour. If this dimensioning does not lead to the goal, another topology must be selected. That way proven topology variants are gradually created for certain application cases, which are partially published or belong to the know-how of a company or the engineer. The idea for this project is, to collect the topologies in a database and to make them available for being used by many engineers in search and select algorithms easy to use. With the tools from the just finished project ANASTASIA a circuit with specified behaviour can be created from the topology for a certain manufacturing technology.

Within the scope of the TMWTA support project „fundamental principles of a circuit topology database for analogue circuits“ the possibilities were investigated, how topologies of analogue circuits can be reused in another technology and

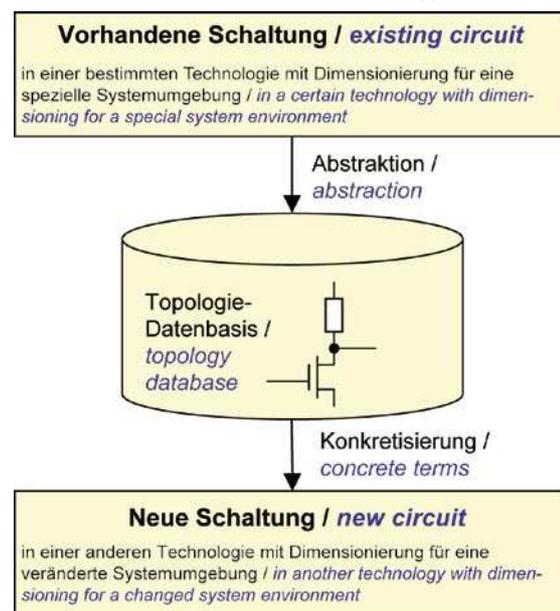


Abb. 1: Prinzip der Wiederverwendbarkeit
Fig. 1: Principle of reusability

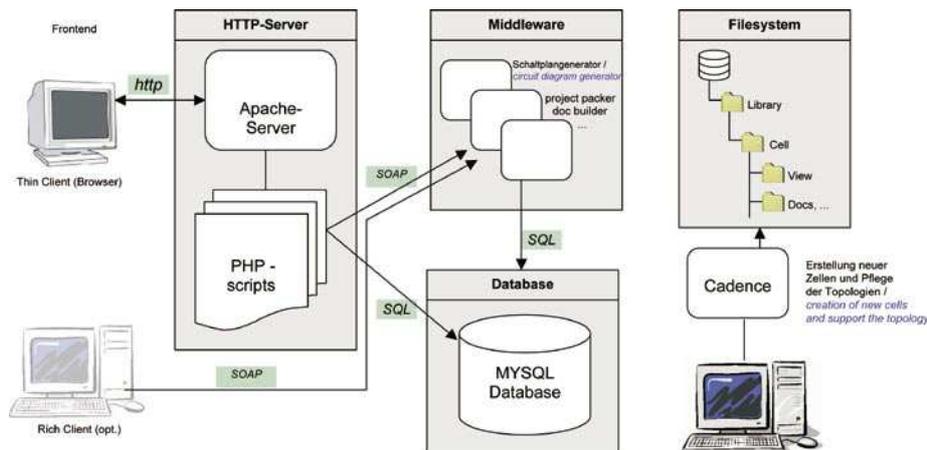


Abb. 2: Architektur des Systems
Fig. 2: Architecture of the system

verwendet als Frontend einen Web-Browser, der mittlerweile bei jedem Betriebssystem zum Standard gehört. Dieser kommuniziert mit einem Intranet-Server (z.B. Apache), auf dem mit PHP-Skripten die Benutzerseiten im HTML-Format generiert werden. Die zu den Topologien gespeicherten Daten befinden sich in einer SQL-Datenbank (Backend). Für spezielle Aufgaben, die nicht oder nur mit unzureichender Performance mit PHP realisiert werden können, gibt es weitere in C programmierte Komponenten (Middleware).

Diese Lösung ist sehr flexibel, da alle Serverkomponenten auf verschiedenen Rechnern laufen können. Sie ist außerdem sehr sicher, da die Kommunikation mit dem Benutzer nur über das HTTP-Protokoll stattfindet und der Zugriff auf Datenbank und Dateisystem durch Middleware-Komponenten erfolgt. So kann die Topologie-Datenbasis auch von entfernten Rechnern über das Internet benutzt werden.

Für Benutzer, die sehr häufig mit der Topologiedatenbasis arbeiten wollen, wäre auch ein spezielles Programm (Rich Client) denkbar, das direkt auf die Middleware zugreift.

Konkretisierung

Die vom Schaltungsentwerfer ausgewählte Topologie wird als Projekt heruntergeladen und kann anschließend mit den EDA-Tools bearbeitet werden. Für die Simulation werden den Bauelementen technologische Modelle zugeordnet. Die Dimensionierung wird mit Optimierungstools wie WiCkED oder NeoCircuits durchgeführt.

Abstraktion und Datenpflege

Der Erfolg dieser Topologiedatenbank hängt hauptsächlich von der Menge der Schaltungen und der Qualität ihrer Beschreibung ab. Idealerweise sollte jeder Entwerfer seinen Beitrag leisten können, ähnlich wie es im erfolgreichen

in different environments.

The procedure can roughly be divided into „abstraction“ (analysis) and “concrete terms“. The term „synthesis“ is deliberately not being used, as this is already used for the automatic circuit engineering from a system description.

Architecture

From the experiences of previous projects the inhibition level for the use of new methods is the lowest and the acceptance of the user the highest, if no labour-intensive software installations must be made. Therefore, the architecture of the topology project has been designed in the form of a distributed system. As front end the user uses a web-browser, which today at each operating system belongs to the standard. This communicates with an Intranet server (e.g. Apache), on which the user pages can be generated with PHP-scripts in HTML-format. The topology data is stored in an SQL-database (back end). For special tasks, which cannot or only with insufficient performance be realized with PHP, further components programmed in C (middleware) are available. The solution is very flexible, as all server components can run on different computers. Apart from that it is very safe, as the communication with the user takes place via the HTTP-protocol only and the access to database and file system takes place by means of middleware components. That way remote computers can also use the topology database via the Internet. For users, who often want to work with the topology database, a special program (Rich Client) is conceivable, by which direct access to the middleware is possible.

Implementation

The topology chosen by the circuit designer is downloaded as a project and can subsequently be processed with the EDA-tools. For simulation

Internetlexikon Wikipedia der Fall ist („Topopedia“). Dazu sind weitere Middlewarekomponenten erforderlich, die aus den Entwurfsprojekten automatisch die Schaltbilder und Dokumentationen für die Datenbank generieren.

Ergebnisse

Innerhalb der kurzen Projektlaufzeit von ½ Jahr konzentrierten sich die Arbeiten auf das generelle Konzept, dem Entwurf der Architektur und verschiedenen Machbarkeitsanalysen. Die PHP-Skripte für die wichtigsten HTML-Seiten und die Datenbankstruktur wurden entworfen. Weiterhin entstand eine Cadence-Library für technologi-

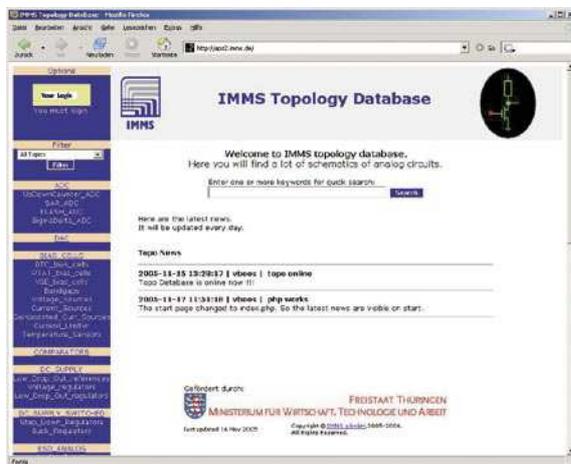


Abb. 3: Benutzeroberfläche
Fig. 3: User interface

eunabhängige Schaltungen mit Skripten zur Simulation. Eine Reihe von Grundschaltungen und Testbenches wurden für das Projekt aufbereitet.

Ausblick

Mit diesem Projekt konnte gezeigt werden, wie die Idee der Wiederverwendung von Topologien realisiert werden kann. Es gibt erste implementierte Lösungsansätze für die Benutzeroberfläche mit Such- und Auswahlfunktionen. Das Prinzip der Abstraktion und Konkretisierung konnte gezeigt werden. Um den vollen Nutzen einer solchen Topologiedatenbasis zu erhalten, sind aber dringend weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig.

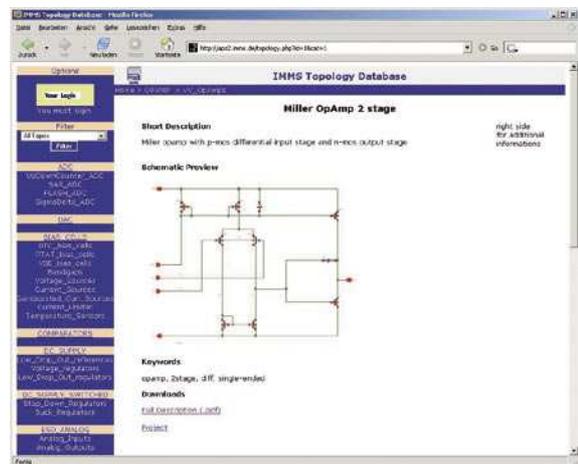
Die realisierte Topologiedatenbasis ist dann nicht nur für die IMMS gGmbH und seine nächsten Industriepartner nutzbar, sondern kann weltweit interessierten Schaltungsentwerfern angeboten werden. Das stärkt den Mikroelektronik-Standort Thüringen.

Ansprechpartner / Contact:
Dr.-Ing. Volker Boos
Tel.: +49 (361) 663 - 2552
E-Mail: volker.boos@imms.de

technological models are assigned to the component parts. Optimisation tools e.g. WICkeD or NeoCircuits carry out the dimensioning.

Abstraction and data maintenance

The success of this topology database mainly depends on the quantity of the circuits and the quality of their description. In the ideal case each designer should be able to make her/his contribution, similar to the successful Internet lexicon Wikipedia (“Topopedia“). Additional middleware components are necessary to automatically generate schematics and documentations for the database from design projects.



Results

Within the short project term of ½ a year the work concentrated on the general concept, the design of the architecture and various feasibility analyses. The PHP-scripts for the most important HTML-pages and the database structure were designed. Apart from that a Cadence-library for technology independent circuits with scripts for simulation was created. Several basic circuits and test benches were prepared for the project.

Outlook

With this project it could be shown, how the idea of reuse of topologies can be realized. There are first implemented solution approaches for the user interface with search and select functions. The principle of “abstraction” and “implementation” could be shown. In order to gain the full advantage of such a topology database, further research and development work is, however, necessary.

The realized topology database can then not only be used by the IMMS and its next industrial partners, but will also be offered worldwide to interested circuit designers, which strengthens the microelectronic location Thuringia and will keep and create workplaces in the long term.

Entwurf und Charakterisierung von HF-Demonstrator-Zellen für das Design-Kit der X-FAB in der Technologie XB06 / *Design and Characterisation of RF building blocks for X-FAB's design kit in the XB06 technology*

Zielstellung

Die von der X-FAB Semiconductor Foundries AG (Erfurt) angebotene 0.6 μm -BiCMOS-Technologie XB06 ermöglicht die Realisierung von Hochfrequenz-ASICs für Frequenzen bis zu 1 GHz. Um Kunden den Einstieg in den Entwurf von HF-ASICs zu erleichtern, wurde für das Design-Kit der X-FAB eine Bibliothek mit typischen HF-Zellen entworfen. Kunden der X-FAB können dadurch für ihre Entwicklungen auf eine Bibliothek von zuverlässigen und charakterisierten HF-Zellen zurückgreifen.

Entwicklungsverlauf und Ergebnisse

Um eine möglichst breite Verwendbarkeit zu ermöglichen, funktionieren die HF-Zellen in einem Spannungsbereich von 2.5 V bis 5.5 V, sowie in einem Temperaturbereich von $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Damit ist auch der Einsatz in automobilen Anwendungen möglich. Als Arbeitsfrequenzbereich wurde das lizenzfreie ISM-Band um 868 MHz ausgewählt.

Die folgenden HF-Zellen wurden realisiert:

- Bias-Zelle für Referenzsignale
- LC-, Ring- und Relaxations-VCOs
- LNAs
- Prescaler mit festem Teilerfaktor
- Dual-Modulus-Prescaler
- Power Amplifier
- Down-Conversion-Mixer

Die wichtigsten Parameter der VCOs sind in der Tabelle vergleichend gegenübergestellt. Die Parameter gelten für 3 V Betriebsspannung und eine Temperatur von $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die zugehörigen Abstimmkennlinien sind in Abb. 1 dargestellt. Der wesentliche Vorteil des LC-VCO's ist sein sehr geringes Phasenrauschen, womit sich spektral sehr reine Referenzfrequenzen erzeugen lassen. Diese werden in Empfängerschaltkreisen

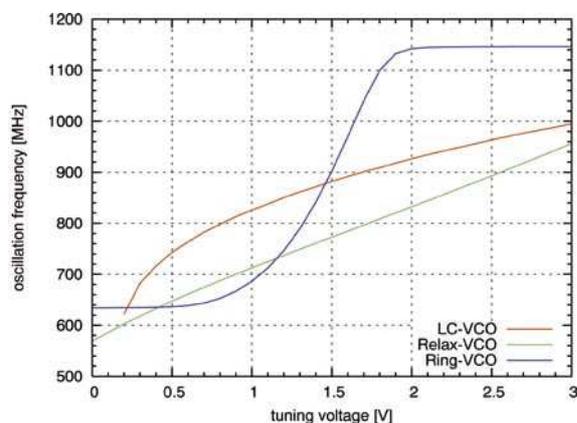


Abb. 1: Abstimmkennlinien der VCOs

Fig. 1: *Tuning characteristics of the VCOs*

Objective

The 0.6 μm -BiCMOS-technology XB06 offered by X-FAB Semiconductor Foundries AG (Erfurt) is suitable for the realisation of radio-frequency ASICs for operating frequencies up to 1 GHz. To facilitate the entrance into the design of RF ASICs for customers, a library containing typical RF building blocks has been created for X-FAB's design kit. X-FAB's customers are now able to base their designs on a library of reliable and fully characterised RF cells.

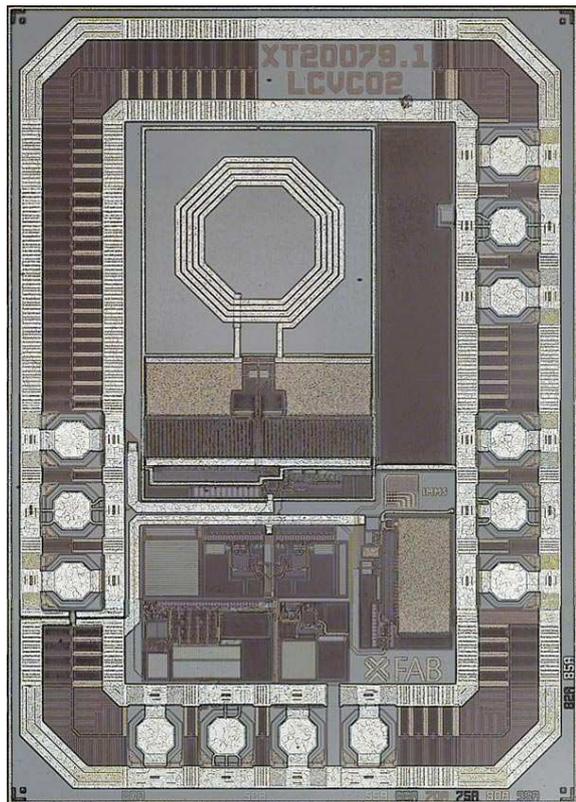


Abb. 2: Chip-Photo eines LC-VCO Test-IC

Fig. 2: *Chip photo of a LC-VCO test IC*

Progress and Results

To allow for a broad range of applications, the RF building blocks are functional in a wide supply voltage range from 2.5 V to 5.5 V. They are intended for a temperature range from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ up to $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, allowing the use in automotive applications. The ISM band around 868 MHz was chosen as operating frequency range.

The following building blocks, required for the design of transmitters, receivers or transceivers are realised:

- Bias cell providing reference signals
- LC, Ring and Relaxation VCOs
- LNAs
- Prescaler with fixed divider ratio
- Dual-Modulus-Prescaler

zum Mischen des Empfangssignals benötigt und können mit ihrer Qualität die Empfindlichkeit des gesamten Empfängers entscheidend verbessern. Sollte die verfügbare Chipfläche sehr gering sein, ist der Relaxations-VCO eine gute Alternative, der ein moderates Phasenrauschen und eine nahezu lineare Abstimmkennlinie aufweist. Der Ring-VCO hat zwar Nachteile bei Stromverbrauch und Phasenrauschen, bietet aber den größten Abstimmbereich.

Parameter / <i>parameter</i>	LC- VCO	Relax- VCO	Ring- VCO
Abstimmbereich [MHz] / <i>tuning range</i>	370	380	510
K_{VCO} @ 868 MHz [MHz/V]	102	120	610
Phasenrauschen / <i>phase noise</i>			
@ $\Delta f = 100$ kHz [dBc/Hz]	- 88	- 74	- 66
@ $\Delta f = 3$ MHz [dBc/Hz]	-122	-105	-100
Stromaufnahme [mA] / <i>supply current</i>	1.10	1.38	1.74
Chip-Fläche [mm ²] / <i>occupied chip area</i>	0.34	0.05	0.08

Ausblick

Im Jahr 2006 wird an der Entwicklung von ähnlichen HF-Baublöcken für die 0.35 μ m CMOS Technologie der X-FAB gearbeitet.

- Power Amplifier
- Down-Conversion-Mixer

The main parameters of the Ring-VCO, the Relaxation-VCO and the LC-VCO, are compared in the table below. The parameters are valid for a supply voltage of 3 V and 27 °C. The corresponding tuning characteristics are shown in Fig. 1. The main advantage of the LC-VCO is its excellent phase noise performance, which is of use in the design of low jitter PLLs. Such a high performance PLL, used to generate the reference frequency in heterodyne receiver architectures, can further improve the sensitivity of the complete receiver for instance. If chip area is a major concern, the Relaxation-VCO with its moderate phase noise, tuning range and nearly linear tuning characteristic is a good alternative. The Ring-VCO draws quite much current and has a poor phase noise performance, but offers the largest tuning range.

Outlook

The development of similar building blocks for X-FAB's 0.35 μ m CMOS technology starts in 2006.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. Klaus Gille

Tel.: +49 (361) 663-2511

E-Mail: klaus.gille@imms.de

Design Kit Entwicklung und Support

Design Kit Development and Support

Einleitung

Im Jahre 2005 wurde die Zusammenarbeit mit der X-FAB Semiconductor Foundries AG Erfurt im Bereich Design Kit Support und Entwicklung erfolgreich fortgesetzt. In den Technologien XI10 (Dünnschicht-SOI), XT06 (Dickschicht-SOI, in Entwicklung) und XDM10/XDH10 (Hochvoltprozesse mit dielektrischer Isolierung) wurde wie in den Vorjahren auf den Gebieten Verifizierungstools sowie Untersuchung neuer Teststrukturen weiter geforscht.

Verifikationsumgebung

Verifikationswerkzeuge sind ein wesentlicher Bestandteil eines Design-Kits und ermöglichen einerseits das Einhalten von Technologie-Design-Regeln bei Layoutarbeiten (DRC Check), andererseits wird sichergestellt, dass Simulationssetups (Schematics) richtig ins Layout umgesetzt werden (LVS Check) und erlauben weiterhin durch Auswertung von parasitären Effekten eine iterative Rückkopplung zwischen Simulation und Layout.

Die Entwicklungsarbeiten in den oben erwähnten Technologien wurden für folgende Verifikationstools fortgesetzt: Diva (DRC, EXT, LVS), Dracula(DRC, LVS). In diesem Jahr wurde zum ersten Mal auch das Verifikationstool Assura, der momentane Vorreiter des Designhauses CADENCE, eine gelungene Kombination aus den Vorteilen der beiden oben erwähnten Tools, für die Technologie XI10 eingesetzt und entsprechende Regelwerke erstellt.

Testchips

Beispielhaft werden hier die Ergebnisse von zwei von der IMMS gGmbH realisierten Testchips vorgestellt.

Fuses Testchip

In der hochtemperaturgeeigneten Dünnschicht-SOI Technologie XI10 wurde ein Testchip für Fuses aufgebaut. Realisiert wurden verschiedene Geometrien (Abmessungen) in Polysilizium

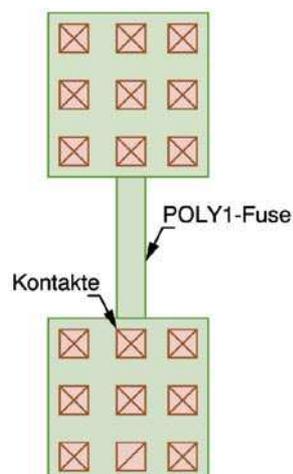


Abb. 1: Beispiel-Layout Polysilizium-Fuse

Fig. 1: Example layout polysilicon fuse

Introduction

In the year of 2005 the cooperation with the X-FAB Semiconductor Foundries AG in the area of Design Kit Support und Development was successfully continued. In the technologies XI10 (thin film-SOI), XT06 (thick film-SOI, under development) and XDM10/XDH10 (highvoltage processes with dielectric insulation) research work was continued, as in the previous years, in the fields of verification tools as well as the investigation of new test structures.

Verification environment

Verification tools are an essential part of a design kit and, on the one hand, allow to preserve technology design rules at layout work (DRC check), on the other hand, it is guaranteed that simulation set-ups (schematics) are correctly converted into the layout (LVS check). By the evaluation of parasitic effects they additionally allow an iterative feedback between simulation and layout. The development activities in the technologies mentioned above were continued for the following verification tools: Diva (DRC, EXT, LVS), Dracula(DRC, LVS). This year the verification tool Assura, the current forerunner of the design house CADENCE, a successful combination of the advantages of both tools mentioned above, was used for the technology XI10 and corresponding rule systems were drawn up.

Test chips

As an example the results of two test chips realized by us were presented.

Fuses Testchip

In the high-temperature capable thin film-SOI technology XI10 a test chip for fuses was assembled.

Realized were various geometries (dimensions) in polysilicon (POLY) and in active areas (NDIFF, PDIFF) as well as corresponding evaluation circuits for programming and testing of fuses. Performance tests at packaged devices were successfully measured at the institute at room temperature by the department measuring technology. Typical programming voltages are at $\geq 8V$. The fuses also successfully passed endurance tests (1000h at 150°C).

ESD Protection Test chip

In the thick film-SOI technology XT06 (under development) design work was continued. The emphasis 2005 was put on the analysis of ESD-protection devices. For that a test chip with various common ESD-structures (diodes, MOSFET-/BJT-thick field oxide clamps, grounded-gate-NMOS) as well as of silicone-controlled rectifiers (SCR) was assembled.

Here an example of the latter is briefly described:

(POLY) und in aktiven Gebieten (NDIFF, PDIFF) sowie entsprechende Auswerteschaltungen zum Programmieren und Testen der Fuses. Funktionstests an Gehäuse-Bauelementen wurden bei Raumtemperatur erfolgreich von der Abteilung Messtechnik am Institut durchgeführt.

Typische Programmierspannungen liegen bei ≥ 8 V. Die Fuses bestanden Lebensdauertests (1000 h bei 150 °C) ebenso erfolgreich.

ESD Protection Testchip

In der Dickschicht-SOI Technologie XT06 (in Entwicklung) wurde die Designarbeit fortgesetzt. Der Schwerpunkt 2005 lag in der Untersuchung von ESD-Schutzbauelementen. Dafür wurde ein Testchip mit einer Vielfalt von gängigen ESD-Strukturen: Dioden, MOSFET-/BJT-/Dickfeldoxid-Clamps, Grounded-Gate-NMOS sowie von Silicon-Controlled Rectifiern (SCR) aufgebaut. Vom Letzteren wird hier kurz ein Beispiel vorgestellt.

Mit Hilfe von Bauelementesimulationen wurden ausführliche technologierelevante Eigenschaften ausgearbeitet, welche uns ermöglichten unterschiedliche Topologien zu realisieren.

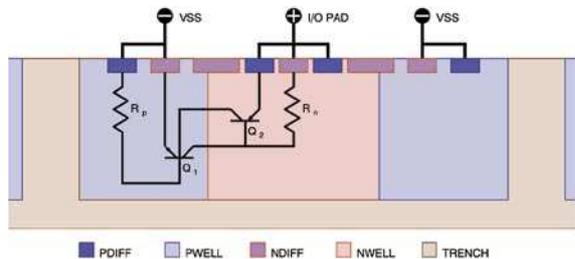


Abb. 2: ESD-SCR-Teststruktur: Querschnitt und Schaltbild

Fig. 2: ESD SCR test structure: cross-section and schematic

Abb. 2 zeigt den Querschnitt durch eine solche symmetrische SCR-Struktur sowie das äquivalente Ersatzschaltbild (Thyristor-Anordnung). Ein Beispiel-Layout aus dem realisierten Chip ist in Abb. 3 zu sehen.

Ausblick

Die Design-Kit Entwicklung und Support werden im Jahre 2006 fortgesetzt. Die realisierten Chips werden vollständig ausgemessen und charakterisiert. Für die Technologien XDM10 und XDH10 werden ebenfalls die Assura-Verifikationsumgebungen bereitgestellt.

by means of devices part simulations detailed technology-relevant properties were worked out, which allowed us the realization of different topologies.

Figure 2 shows the cross-section through such a symmetric SCR-structure as well as the equiva-

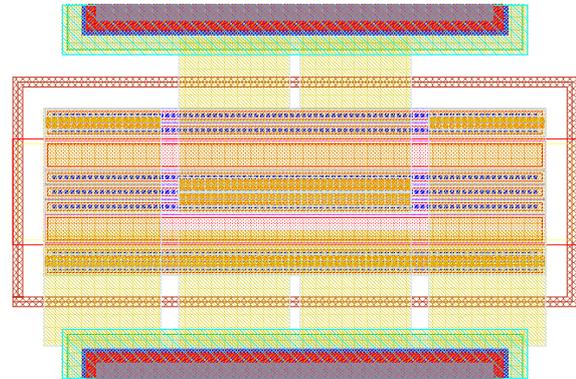


Abb. 3: ESD-SCR-Teststruktur: Layout

Fig. 3: ESD SCR test structure: Layout

lent circuit diagram (thyristor-arrangement). An example layout of the realized chip is shown in figure 3.

Outlook

The Design Kit Development and Support will be continued in the year of 2006. The realized chips will be completely measured up and characterized. For the technologies XDM10 and XDH10 also the Assura verification environment will be provided.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Valentin Nakov
Tel.: +49 (3677) 69-5584
E-Mail: valentin.nakov@imms.de

Industrielle Elektronik und Messtechnik / *Industrial Electronics and Measuring Technology*

Ein Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsprojekte des Themenbereiches liegt auf dem Gebiet der HF-Systeme. Das Spektrum der Aufgabenstellungen reicht von der Charakterisierung einzelner Transistoren bis hin zum Test von Kleinserien für Prototypen komplexer HF-ASICs. Die Parametermessung von Transistoren kann an der IMMS gGmbH von DC bis 50 GHz und Rauschparameter können bis 26 GHz bestimmt werden. Eine weitere Option sind seit 2005 1/f-Rauschmessungen.

Der Einsatz eines Wafer-Prober, gestattet die Messungen im Temperaturbereich von -60°C bis +200°C, was Charakterisierungen auf einem hohen technischen Niveau ermöglicht.

Es bestehen langfristige Forschungs Kooperationen mit namhaften Vertretern der Halbleiterindustrie. Ein besonderes Augenmerk richtet das Institut auf seine Thüringer Forschungspartner, insbesondere am Thüringer Mikroelektronikstandort Erfurt-Südost. Für die X-FAB Semiconductor Foundries AG in Erfurt wurden im Ergebnis von Forschungen HF-Demo-Zellen für ihre Designkits in mehrere Technologien entwickelt und charakterisiert.

Ziel der Testmethodik für **komplexe anwenderspezifische HF-Schaltkreise** waren 2005 die Entwicklung von Testmethoden über den gesamten Entwurfsprozess, vom Labor bis hin zur Produktionsumgebung. Im Ergebnis wurden für die Melexis GmbH Erfurt Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für den Device- und Wafer-Test von HF-ASICs durchgeführt, die in den nächsten Jahren fortgeführt werden sollen. Im Bereich der Vorlaufforschung ist der Themenbereich in das vom Thüringer Wirtschaftsministerium geförderte Forschungsprojekt MODAS eingebunden. Gegenstand dieses Projekts ist die Testmethodik für Schaltungen im Frequenzbereich bis 6 GHz. Voraussetzung für das Leistungsspektrum des Themenbereiches sind hohe fachliche Kompetenzen der Mitarbeiter, Systemdenken, exzellente HF-Messtechnik, der Einsatz von moderner Software für die Gerätesteuerung und Simulation sowie Erfahrungen beim HF-gerechten Board Design.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt des Themenbereiches ist die **Testmethodik für optoelektronische Systeme**. Grundbausteine von PDICs (Photo Detecting Integrated Circuits) sind Fotodioden und essenziell für den Erfolg des Entwurfs optoelektronischer Systeme ist deren dynamische Charakterisierung. Hierauf hat sich der Themenbereich spezialisiert und ergänzt so die Kompetenzen anderer Firmen am Standort Erfurt-Südost.

Ausgehend von den Erfahrungen der letzten

In one of the department's main research and development projects the emphasis is put on the field of RF-systems.

The spectrum of problem definitions reaches from the characterization of individual transistors to the test of small series for prototypes of complex RF-ASICs. At the IMMS gGmbH the parameter measurement of transistors can be carried out from DC to 50 GHz and noise parameters can be determined up to 26 GHz. Since 2005 a further option is the measurement of 1/f-noise.

The use of a wafer prober allows measurements in the temperature range of -60°C to +200°C, by which characterizations on a high technical level become possible.

There is a long-term research cooperation with well-known representatives of the semiconductor industry. The institute directs special attention to its Thuringian research partners, in particular at the Thuringian microelectronics location Erfurt South East. For the X-FAB Semiconductor Foundries AG in Erfurt RF-demo-cells for its design kits were developed and characterized - as a result of research activities - in several technologies.

*In 2005 the aim of the test methodology for **complex application-specific RF-circuits** was the development of test methods over the total design process, from the laboratory to the production environment. As a result research and development tasks for the device and wafer tests of RF-ASICs were carried out for the Melexis GmbH, which are intended to be continued in the next few years.*

In the area of preparatory research the department is involved into the research project MODAS supported by the Thuringian Economics Ministry. Subject of this project is the test methodology for circuits in the frequency range of 6 GHz.

Condition for the performance spectrum of the department are high technical competencies of the staff members, system thinking, excellent RF-measuring technology, the use of modern software for device control and simulation as well as experiences at RF-suitable board design.

*A further emphasis in research activities carried out by the department is put on the **test methodology for optoelectronic systems**. Basic components PDICs (photo detecting integrated circuits) are photodiodes and an essential factor for the success of the design of optoelectronic systems is their dynamic characterization. The department has specialized in this subject and that way supplements the competences of other companies at the location Erfurt South East.*

Starting from the experiences of the last few ye-

Jahre soll 2006 eine neue Testmethode für die dynamische Charakterisierung von Fotodioden bei der X-FAB zum Einsatz kommen. Für die Entwicklung von Methoden zur Charakterisierung von PDICs hat sich der Themenbereich auf den Wafer-Level konzentriert und kann damit grundlegende Erkenntnisse für eine Designoptimierung liefern. Hierfür steht ein Wafer-Prober mit optischer Stimulierung zur Verfügung, der ebenfalls im Temperaturbereich von -60°C bis +200°C einsetzbar ist. Für die umfassende Untersuchung von gehäuteten Bauelementen, wurde die Messausrüstung für die optische Bank 2005 erweitert. Der Einsatz eines Kreuztisches gestattet die Automatisierung von Messreihen. Das Frequenzspektrum der verfügbaren Laser für die optische Stimulierung erstreckt sich nun vom blauen bis in den infraroten Bereich hinein. Weitere Forschungsarbeiten im industriellen Auftrag hatten die Charakterisierung optoelektronischer Transceiver, die Designoptimierung und Testmethodikentwicklung sowie den Test optoelektronischer Demonstratoren zum Gegenstand.

Im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojektes ATHIS wurden mehrere Memories und ein Demonstrator in der speziellen Technologie **SOI** (Silicon on Insulator) untersucht. Die entwickelten Testmethoden konnten erstmals im industriellen Forschungsauftrag für Hersteller in den USA eingesetzt werden.

Auch auf dem Gebiet der **Untersuchung der Zuverlässigkeit von monolithisch integrierten Schaltungen und Systemen** ausgehend von der Halbleiterfertigung ist der Themenbereich aktiv. Verschiedene Testmethoden und der Testsupport für die Charakterisierung und Qualifizierung von Cell Verification Devices wurden für die X-FAB entwickelt. Diese Zusammenarbeit soll im kommenden Jahr durch Untersuchungen an weiteren Zuverlässigkeitsstrukturen fortgesetzt werden.

Auf dem Gebiet der **industriellen Elektronik** wurden 2005 mehrere Projekte für Thüringer KMUs bearbeitet. Zu den Schwerpunkten des Themengebietes in den nächsten Jahren gehören die Schaltungstechnik für Batteriemanagementsysteme, Pre-Compliance-Messungen im EMV-Bereich sowie Leistungselektronik und Sensorik für mechatronische Antriebe.

Die erreichten Ergebnisse der letzten Jahre sind für den Themenbereich Verpflichtung, sich neuen, größere Herausforderungen zu stellen. Um den zukünftigen Aufgaben gewachsen zu sein, soll das Messtechniklabor am Standort Erfurt umstrukturiert werden und in Ilmenau werden zwei weitere Testlabore entstehen.

ars X-FAB is planning to use a new test method for the dynamic characterization of photodiodes. For the development of methods for the characterization of PDICs the department concentrated on the wafer level and with that is able to offer fundamental knowledge for design optimisation. Here a wafer prober with optical stimulation is available, which can also be used in the temperature range of -60°C to +200°C. For the extensive investigation of cased component parts the measuring equipment of the optical bench was extended in 2005. The use of a cross stage allows the automation of measuring series. The frequency spectrum of available lasers for optical stimulation extends from the blue into the infrared range.

*Further research work on industrial order was carried out in the fields of characterization of optoelectronic transceivers, the design optimisation and test methodology development as well as the test of optoelectronic demonstrators. Within the scope of the EU-supported research project ATHIS several memories and a demonstrator in the special technology **SOI** (silicon on insulator) were investigated. The test methods developed could for the first time be used in an industrial research order for manufacturers in the USA.*

*The department is also active - starting from semiconductor production - in the field of the **investigation of the reliability of monolithic integrated circuits and systems**. Various test methods and test support for the characterization and qualification of cell verification devices were developed for X-FAB. It is intended to continue this cooperation during the next few years by investigation in further reliability structures.*

*In the field of **industrial electronics** several projects for Thuringian KMUs were carried out in 2005. In the next few years the department will put main emphasis on circuit engineering for battery management systems, pre-compliance measurements in the EMV-range as well as power electronics and sensorics for mechatronic drives.*

The department considers the results achieved during the last few years being its obligation, to prepare itself in the next few years for new even bigger challenges. In order to come up to the requirements of future tasks, the measuring technology laboratory at the location Erfurt will be restructured and in Ilmenau two additional test laboratories will be established.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Klaus Förster

Tel.: +49 (3677) 69-5520 / +49 (361) 663-2504

E-Mail : klaus.foerster@imms.de

Teststrategien für HF-ICs vom Labor zur Produktion

Test strategies for RF-ICs from laboratory to production

Durch den steigenden Integrationsgrad von HF- und Mixed-Signal ICs und die damit verbundene Komplexität der Schaltungen werden auch höhere Anforderungen an die Evaluierung, Charakterisierung und den Test der Schaltkreise gestellt. Neue Testmethodiken sind zu implementieren. Um eine schnelle Umsetzung der gewonnenen Ergebnisse zu erreichen, ist unbedingt eine enge Zusammenarbeit zwischen Designern, Labor- und Testingenieuren notwendig. Insbesondere HF-ICs und HF-ASICs beinhalten eine Funktionsvielfalt, die spezielle Testsetups erfordert. Die aufgezeigten Beispiele und Lösungen wurden im Rahmen der Zusammenarbeit der IMMS gGmbH mit der Firma Melexis GmbH Erfurt gewonnen. Hervorzuheben sind die Erfahrungen und Messergebnisse, die aus der unmittelbaren Verbindung von Evaluierung, Labormessungen und Produktionstest in der Praxis resultieren.

Einleitung

Bei der Entwicklung eines (HF-)ICs können Evaluierung, Charakterisierung und Test nicht als voneinander unabhängige Prozesse betrachtet werden. Zu vielfältig sind die Verflechtungen und Rückkopplungen. Ein erfolgreicher Produktionstest lässt sich nur auf der Grundlage einer umfassenden Evaluierung realisieren. Dabei kommt es auf ein optimales Zusammenwirken von Hardware- und Softwarekomponenten an. Durch die Festlegung auf Standards (Steckverbinder, Boardabmessungen) wird eine Wiederverwendung von Ressourcen der Testumgebung ermöglicht. Eine Vereinheitlichung von Software-routinen für immer wiederkehrende Messungen lässt ebenfalls die Entwicklungszeiten verkürzen.

Evaluierung und Test

Neben dem Nachweis der Funktionalität von ersten Engineering Samples eines neuen ICs

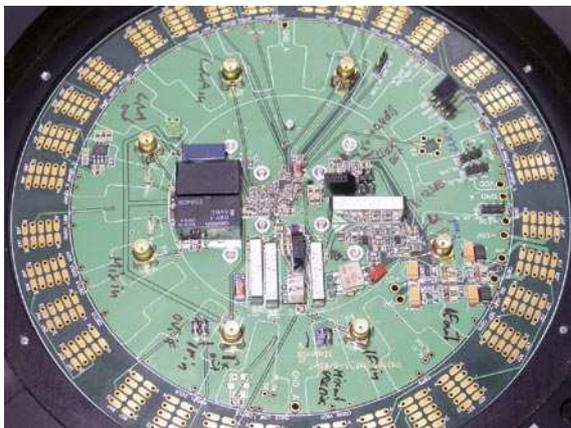


Abb. 1: Loadboard Fusion CX für einen HF-IC
Fig. 1: Loadboard Fusion CX for a RF IC

Owing to the increasing interpretation degree of RF and mixed signal IC and the complexity of circuits in connection with that, also higher requirements are made on evaluation, characterization and testing of integrated circuits. New test methods must be implemented.

In order to achieve a fast realization of the obtained results, a close cooperation between designers, laboratory and test engineers is absolutely necessary.

In particular RF-ICs and RF-ASICs offer a functional variety requiring special test set ups. The demonstrated examples and solutions have been gained within the cooperation of the IMMS gGmbH with the Melexis GmbH Erfurt. To be emphasized are the experiences and measuring results obtained from the direct connection of evaluation, laboratory measurements and production tests in practice.

Introduction

At the development of a (RF-)IC evaluation, characterization and test cannot be viewed as processes independent of each other. Too varied are the interconnections and the feedback. A successful production test can only be realized on the basis of an extensive evaluation. Here the optimal interaction of hardware and software components is of essential importance.

Owing to fixed standards (connectors, board dimensions), the resources of the test environment can be reused. A unification of software routines for measurements always repeated also allows a reduction in development times.

Evaluation and test

Apart from proving the functionality of first engineering samples of a new IC, the evaluation represents the foundation for further working steps:

- optimisation of the reference circuit*
- characterization of the IC*
- derivations of redesign tasks*
- functional tests and error analyses*
- development of tester load boards*
- implementation of tester programs*
- further development of the test specification*

The board to be used represents a compromise between an evaluation board in the actual sense (which shows the customer the principal function of the IC) and a tester load board (as it is used in production). Background is that this should be managed with a single hardware for all development stages of the IC and to avoid double development. That way a hardware basis is created, which can be used on various test platforms.

In order to be able to measure and test under conditions as close to production as possible, the test functionality must partly be integrated on

bildet die Evaluierung die Grundlage für weitere Arbeitsschritte:

- Optimierung der Referenzschaltung
- Charakterisierung der ICs
- Ableitung von Redesign-Aufgaben
- Funktionaltests und Fehleranalysen
- Entwicklung von Testerloadboards
- Implementierung von Tester-Programmen
- Weiterentwicklung der Test-Spezifikation

Das hierbei einzusetzende Board stellt einen Kompromiss zwischen einem Evaluation-Board im eigentlichen Sinne (welches die prinzipielle Funktion des ICs dem Kunden veranschaulicht) und einem Tester-Loadboard (wie es in der Produktion eingesetzt wird) dar. Hintergrund dessen ist, für alle Entwicklungsstufen des ICs mit einer Hardware auszukommen und Doppelentwicklungen zu vermeiden. So wird eine Hardwarebasis geschaffen, die auf den verschiedenen Testerplattformen einsetzbar ist.

Um möglichst produktionsnah Messen und Testen zu können, ist die Testerfunktionalität auf einem Test-Board teilweise mit zu integrieren. Somit kann dann mit externen einzelnen Messgeräten ein erster Testflow auch schon im Labor aufgebaut werden. Insgesamt gesehen ist es ein enormer Vorteil, wenn man bei der Evaluierung den Produktionstest mit seinen Einschränkungen und Möglichkeiten schon im Blickfeld hat. Durch die unterschiedliche gerätetechnische Ausrüstung und Testphilosophie von Labor und Produktionstest ist es erforderlich, die Teststrategien an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.

Labormessungen vs. Produktionstest

Bei den Labormessungen kommen prinzipiell Standardmessgeräte zum Einsatz:

- Oszilloskope
- Spektralanalysatoren
- Netzwerkanalysatoren
- HF-Signalgeneratoren
- Funktionsgeneratoren
- Multimeter, Zähler etc.

Diese Messgeräte sind oft mit Zusatzoptionen ausgerüstet, wodurch spezielle HF-Messungen relativ einfach realisiert werden können:

- Phasenrauschen
- Rauschzahlen
- Bitfehlerraten
- Frequenzumsetzende Messungen
- Nichtlineare Messungen (Harmonische, Interceptpoint, IP3, Großsignalverhalten)

Die Steuerung der Messgeräte erfolgt meist über einen PC (z.B. mit Agilent VEE) unter Nutzung von GPIB- bzw. LAN-Interfaces. Außerdem wird die SPI-Schnittstelle des ICs über den Parallel-

a test board. Consequently, a first test flow can already be set up in the laboratory with external individual measuring devices. Generally seen it is of enormous advantage, when the production test with its limitations and possibilities is already taken into consideration at the evaluation.

Owing to the different instrumentation and test philosophy of laboratory and production test it is necessary, to adapt the test strategies to the corresponding conditions.

Laboratory measurements vs. production test

At all laboratory measurements in principle standard measuring devices are used:

- *oscilloscopes*
- *spectrum analysers*
- *network analysers*
- *RF-signal generators*
- *function generators*
- *multimeter, counter, etc.*

These measuring devices are often equipped with additional options, by which it is relatively simple to realize special RF-measurements:

- *phase noise*
- *noise figures*
- *bit error rates*
- *frequency transforming measurements*
- *non-linear measurements (harmonic, intercept point, IP3, large signal behaviour)*

The control of the measuring devices in many cases takes place by means of a PC (e.g. with Agilent VEE) by using GPIB or LAN interfaces. Apart from that the SPI interface of the IC is controlled via the parallel port of the PC.

The connection of the devices to the corresponding test points on the board must take place by suitable circuit elements. The requirements considerably depend on the measuring task, the expected measured values, the necessary dynamic range and generally spoken on the measuring environment.

Apart from the RF-IC socket, which also represents a considerable cost factor, there is a further central problem regarding the test assembly – the RF-switches. The following parameters are important for selection:

- *transmission loss*
- *isolation*
- *parasitics: capacitive load*
- *size*
- *reliability*
- *power handling capability*

Coaxial RF-switches with SMA-connectors, which are specified into the GHz-range, are, regarding the data, for sure the best solution. In contrast there are, however, a large space re-

port des PCs gesteuert.

Der Anschluss der Geräte an die entsprechenden Testpunkte auf dem Board muss durch geeignete Schaltelemente erfolgen. Die Anforderungen hängen stark von der Messaufgabe, den zu erwartenden Messwerten, dem notwendigen Dynamikbereich und, ganz allgemein gesagt, von der Messumgebung ab.

Damit ergibt sich neben der HF-IC-Fassung, die auch einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt, ein weiteres zentrales Problem des Testaufbaus - die HF-Schalter. Folgende Parameter sind für die Auswahl wichtig:

- Durchgangsdämpfung
- Isolation
- Parasitics: kapazitive Last
- Größe
- Zuverlässigkeit
- Aussteuerbarkeit.

Koaxiale HF-Schalter mit SMA-Anschlüssen, die bis in den GHz-Bereich spezifiziert sind, sind von den Daten her sicher die beste Lösung. Dem stehen aber ein großer Platzbedarf und hohe Kosten entgegen, womit ihre Verwendung auf wenige Spezialfälle beschränkt bleibt.

Beim Produktionstest ist die Hardware durch das installierte Testsystem fest vorgegeben und lässt kaum Modifikationen und Erweiterungen zu. Die weiteren Angaben beziehen sich auf einen Tester Fusion CX der Firma LTX. In Abb. 1 ist ein CX-Loadboard für einen HF-IC (FSK/PSK-Transceiver für 400 und 900 MHz) zu sehen. Gut zu erkennen sind die koaxialen HF-Anschlüsse und die bis 1 GHz tauglichen HF-Relais vom Typ Omron G6Y.

Der folgende Vergleich zeigt die hardwarebedingten Unterschiede zwischen Labormesstechnik und Produktionstest auf:

Labor	Tester Fusion CX
Oszilloskop	Digitizer bis 125 MHz
Spektrumanalyzer	Digitizer + Mischer
Networkanalyzer	Signalgenerator + Mischer + Digitizer + Richtkoppler
Signalgenerator	Signalgenerator
Multimeter	OVI (Source meter)
Digitale PC Schnittstellen (USB, LPT)	Dynamic Digital Pins
Zähler	-

Tab. 1: Vergleich Labormesstechnik und Tester

Daraus ergibt sich, dass eine ganze Reihe von Messungen im Produktionstest nicht direkt im-

quirement and high costs, by which their use is limited to a few special cases only.

At the production test the hardware is fixedly specified and hardly allows any modifications and extensions. The following details relate to a tester fusion CX by LTX. In figure 1 a CX-load board for a RF-IC (FSK/PSK-transceiver for 400 and 900 MHz) is shown. The coaxial RF-connections and the RF-relays type Omron G6Y [4] suitable to 1 GHz are clearly visible.

The following comparison shows the hardware-dependent differences between laboratory measuring and production test:

Laboratory	Tester Fusion CX
Oscilloscope	Digitiser to 125 MHz
spectrum analyser	Digitiser + mixer
Network analyser	Signal generator + mixer + digitiser + directional coupler
Signal generator	Signal generator
Multimeter	OVI (Source meter)
Digital PC interfaces (USB, LPT)	Dynamic Digital Pins
Counter	-

Tab. 1: Comparison laboratory measuring and tester

The result of this is that a great number of measurements in the production test cannot be directly implemented, as it is the case in the laboratory where they are covered by standard measuring options.

- phase noise measurements
- noise measuring figures
- bit error rate measurements
- spectral measurements over wide frequency sweep
- phase measurements
- Measurements in time domain

The setting of parameters can partly be reproduced by indirect measurements. Here the effort is shifted from the missing hardware to test programming.

Test strategy: assembly test vs. system test

System test
Traditionally the tests for a RF-IC are set up in modules. That way errors can be isolated and possible causal connections between individual errors be recognized. Owing to that the test program is able to detect a larger number of errors. Basis is, however, that the individual modules are also accessible from the outside, which owing to the increasing integration degree becomes more and more difficult, as most of the connections

plementiert werden können, wie sie im Labor durch Messoptionen von Standardmesstechnik abgedeckt werden:

- Phasenrauschmessungen
- Rauschzahlmessungen
- Bitfehlerratenmessungen
- Spektralmessung über großen Frequenz-sweep
- Phasenmessungen
- Messung der Kurvenformen im Zeitbereich

Diese Bestimmung von Parametern kann teilweise durch indirekte Messungen nachgebildet werden. Dabei wird der Aufwand von der (fehlenden) Hardware in die Testerprogrammierung verlagert.

Teststrategie: Baugruppentest vs. Systemtest

Traditionell werden die Tests für einen HF-IC-Baugruppenweise aufgesetzt. Damit können Fehler gezielt eingegrenzt werden und mögliche kausale Verkettungen zwischen einzelnen Fehlern können erkannt werden. So wird eine große Fehlerabdeckung durch das Testprogramm erreicht.

Die Grundlage dafür ist aber, dass die einzelnen Baugruppen auch von außen her zugänglich sind. Das wird mit steigendem Integrationsgrad aber immer schwieriger, da die meisten Verbindungen HF-technisch günstig intern auf dem Chip realisiert sind.

Außerdem ist die Anzahl der Pins begrenzt, so dass z.B. über Multiplexer die Signale nach außen geschaltet werden können. Das bedeutet aber, dass bereits beim Design Schaltungsteile zur Testunterstützung realisiert werden müssen, was auch unter dem Begriff „Design for Test“ gefordert wird.

Design for Test ist gerade für hochintegrierte komplexe ICs von fundamentaler Bedeutung.

Die Praxis sieht aber oft anders aus:

1. Diese zusätzlichen Schaltungsteile benötigen Chipfläche, die immer knapp und teuer ist.
2. Die Performance des ICs darf dadurch nicht beeinträchtigt werden.
3. Zusätzliche Pins (was meist ein größeres Gehäuse nach sich zieht) sind meist nur eine idealistische Wunschvorstellung.

Auf dem HF-Loadboard eines Produktionstesters (Abb. 1) ist die Verteilung der Testerressourcen eine anspruchsvolle Aufgabe, um gegenseitige Beeinflussungen, zum Beispiel Crosstalking zwischen HF-Ports, möglichst gering zu halten. Neben den Ergebnissen der Tests von Einzel-

from the RF-technical point of view are favourably realized internally on the chip.

Apart from that the number of pins is limited so that e.g. the signals can be switched to the outputs via Multiplexer, which, however, means that parts of the circuit must already be designed in a way supporting the test, which is also required by the term design for test.

Especially for highly integrated complex ICs **design for test** is of fundamental importance.

In practice, however, often things are different:

1. The additional circuit parts require chip space, which is always confined and expensive.
2. This may not affect the IC performance.
3. Additional pins (which in many cases requires a larger case) are often an idealistic idea.

On the RF-load board of a production tester (Fig. 1) the distribution of the test resources is a task with high requirements, in order to keep mutual influences, e.g. cross talking between RF-ports, as low as possible.

Besides the results of the tests of individual assemblies (Fig. 2, 3), the statistic evaluation of which is very informative for judging the stability of the semiconductor technology, the performance of the total system, however, is the most important criterion for the final customer.

Therefore, besides the principal functionality further parameters, e.g. the receiver sensitivity,

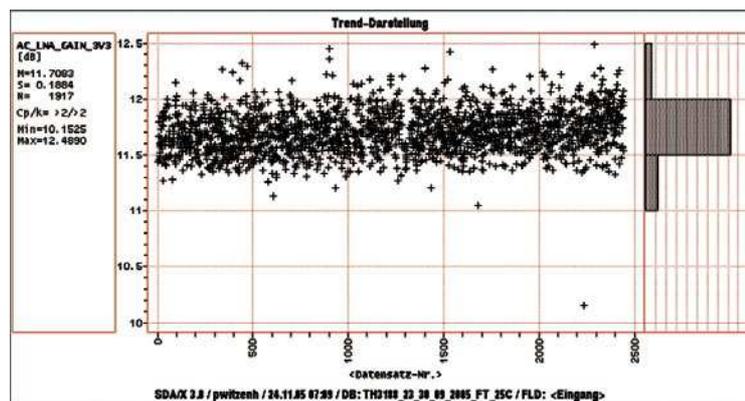


Abb. 2: LNA-Gain bei 900 MHz gemessen über 2400 Bauelemente

Fig. 2: LNA-gain at 900 MHz measured over 2400 devices

can be analysed by means of a system test, e.g. of a receiver, over all modules from LNA to the demodulator. This measurement now allows the additional derivation of the following parameters:

- noise figure of the receiver / RF-front ends
- total amplification

baugruppen (Abb. 2,3), deren statistische Auswertung für die Beurteilung der Stabilität der Halbleitertechnologie sehr aufschlussreich ist, ist aber die Performance des Gesamtsystems für den Endkunden das wichtigste Kriterium.

Deshalb können mit einem Systemtest beispielsweise eines Empfängers über alle Baugruppen vom LNA bis zum Demodulator neben der prinzipiellen Funktionalität weitere Parameter wie z.B. die Empfängerempfindlichkeit bestimmt werden. Diese Messung ermöglicht nun, weitergehend folgende Parameter abzuleiten:

- Rauschzahl des Empfängers / HF-Frontends
- Gesamtverstärkung
- Bitfehlerrate
- Selektivität
- Regelungsverhalten
- Großsignalverhalten, Intermodulation (Abb. 3)

Die Praxis hat gezeigt, dass hier durchaus Differenzen verglichen mit der einfachen numerischen Addition der Parameter der Einzelbaugruppen auftreten können. Die Rückrechnung von Parametern, auf der Grundlage des Verhältnisses von Messwerten, die auf optimal gestalteten PCBs bzw. mit viel Parasitics und Kompromissen versehenen Tester-Loadboards gewonnen wurden, ist meist nicht erfolgreich. Wie viel Aufwand an Signalumschaltung auf einem Testerloadboard realisiert werden kann, hängt letztendlich auch vom verfügbaren Platz auf dem PCB ab. Auch hier ist ein sinnvoller Kompromiss zu finden.

Teststrategie: Wafertest

Der Aufwand für einen Test „on wafer“ ist durch die Verwendung von Membran- oder Nadelprobecards höher als beim Devicetest. Die entscheidende Frage ist, ob ein kompletter HF-Test bei Frequenzen bis in den GHz-Bereich implementiert werden muss.

Mit einem durchdachten Loadboard-Layout kann die Mehrheit der Tests umgesetzt werden. Bei den HF-Messungen besteht die Möglichkeit, im Vergleich mit den Devicetests Korrekturwerte zu generieren, um eine prinzipielle PASS/FAIL-Selektion zu realisieren.

Hierbei kommt es nur darauf an, die grundsätzliche Funktionalität der Baugruppen nachzuweisen und nicht die maximale Performance des ICs zu erreichen.

Mit dem Wafertest kann somit nie eine 100%ige Testabdeckung des DUT's erreicht werden. Ziel ist es, durch den Wafersort die Kosten für das Packaging so klein wie möglich zu halten. Bei dem anschließenden Devicetest, nach erfolgtem Packaging, liegt die Ausbeute der PASS Bauele-

- bit error rate
- gain
- control behaviour
- large signal behaviour, intermodulation (Fig. 3)

Practice showed that differences, compared with simple numerical addition of the parameter of individual modules, could definitely occur. The recalculation of parameters, on the basis of measured values, which are gained on optimally designed PCBs or with tester load boards provided with a great number of parasitics and com-

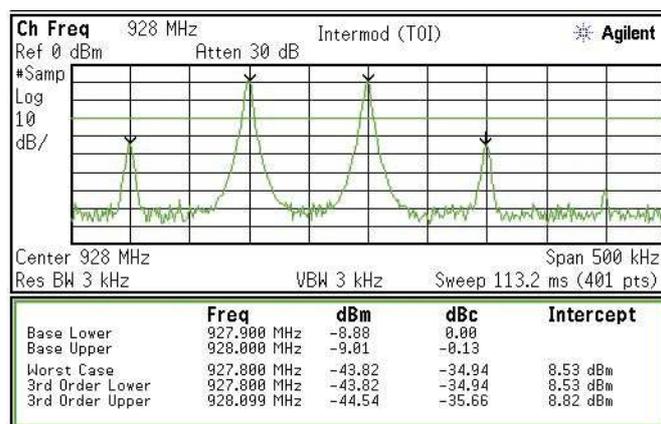


Abb. 3: Messung des Interceptpoints 3. Ordnung IP3
Fig. 3: Measurement of the 3.order intercept points IP3

promises, is often not successful.

The signal switching extent that can be realized on a test load board, finally depends on the available space on the PCB. Here too a useful compromise must be found.

Test strategy: wafer test

Through the use of membrane or pin probe cards the work and cost spent for a test "on wafer" is higher than at a device test. The decisive question is, whether a complete RF-test at frequencies into the GHz range must be implemented.

By means of a well thought out load board layout, the majority of the tests can be realized. At the RF-measurements there is the possibility - in comparison with the device tests - to generate correction values, in order to realize a principal PASS/FAIL-selection.

Here it is only of importance, to prove the general functionality of the modules and not to achieve the maximum performance of the IC.

By means of the wafer test tests of the DUT cannot be covered a 100%. Objective is, to keep the costs for packaging as low as possible by the wafersort. At the subsequent device test, after finished packaging, the yield of the PASS component parts is at a range of 93 to 99%.

Within the scope of characterization with an ex-

mente im Bereich 93 bis 99%.

Im Rahmen der Charakterisierung mit einem erweiterten Testprogramm wird das DUT bei seinen spezifizierten Grenzen (obere und untere Betriebsspannung sowie Ecktemperatur) stichprobenartig vermessen. Treten hierbei zusätzliche FAILs auf, die im normalen Produktionstest nicht in Erscheinung traten, hat man ein ernstes Problem. Es muss analysiert werden, anhand welcher Tests bereits unter Produktionstestbedingungen diese Fehler ebenfalls erkannt werden können.

Zusammenfassung

Bei der Testmethodikentwicklung für anwendungsspezifischen HF-Schaltkreise konnte im Jahr 2005 ein neues Niveau erreicht werden. Die Erweiterung bis zur Anwendung unter industriellen Bedingungen wurde sowohl für den Device-Test als auch für den Wafer-Test erfolgreich umgesetzt. Damit wurde der komplette Testflow für einen HF-ASIC realisiert.

Die Erkenntnisse aus der Evaluierung und Charakterisierung im Labor wurden konsequent und gezielt zur Serienmessung überführt. Diese Erfahrungen bilden eine solide Grundlage, auf der die sehr gute Zusammenarbeit mit der Melexis GmbH bei der Entwicklung von weiteren HF-ICs fortgeführt werden soll.

tended test program the DUT is measured at its specific limits by taking random samples (upper and lower operating voltage as well as reference temperature). If here additional FAILS occur, which in the normal production test did not appear, we are confronted with a serious problem. It must be analysed, by means of which tests these errors can already be detected under production test conditions.

Summary

At the test method development for application specific RF-circuits a new level could be achieved in the year of 2005. The extension to the application under industrial conditions was successfully realized for the device test as well as for the wafer test. With that a complete test flow was realized for a RF-ASIC.

The findings from the evaluation and characterization in the laboratory were consequently and specifically transferred to serial measurement. These experiences build a solid basis, on which we intend to continue the very good cooperation with the Melexis GmbH in the development of further RF-ICs.

Ansprechpartner / Contact:

Dipl.-Ing. Björn Bieske

Tel.: +49 (3677) 69-5526

E-Mail: bjoern.bieske@imms.de

Messung von Empfindlichkeitsprofilen an Fotodioden

Measurement of sensitivity profiles at photodiodes

Ziele

Die Messung optisch angeregter Schaltungen gewinnt bei der Entwicklung moderner Schaltkreise zunehmend an Bedeutung und ist für den Testingenieur stets eine Herausforderung. Herzstück von optoelektronischen Schaltkreisen sind Fotodioden und Fotodiodenarrays. Dabei ist die Empfindlichkeit ein wesentlicher Parameter. In diesem Beitrag wird die Messung von Empfindlichkeitsprofilen an Fotodioden auf Waferlevel vorgestellt. Lichtleistung, exakte Positionierung über dem Chip und minimale Spotabmessungen sind für den Einsatzfall anzupassen und zu optimieren. Das erforderliche Equipment und der Testaufbau werden beschrieben, die Testentwicklung und Messergebnisse vorgestellt. Das Messverfahren ist seit zwei Jahren erfolgreich im Einsatz.

Forschungsverlauf und -stand

Gemeinsam mit dem Forschungspartner Melexis GmbH Erfurt entwickelt die IMMS gGmbH optoelektronische Schaltkreise. Zur Optimierung der eingesetzten Dioden dienen dabei Teststrukturen, die ausschließlich Fotodioden ohne Beschaltung enthalten. Abb. 1 zeigt eine Gruppe von Diodenpaaren, deren Abstand zueinander variiert. Mit Hilfe von Linescans lassen sich Aussagen über den Einfluss dieses Parameters treffen.

Equipment

Kernstück des Messplatzes ist ein Waferprober PA200 von Süss Microtec (Abb. 2). Der Thermo-chuck gestattet dabei Messungen im Temperaturbereich von $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Über dem Mikroskop befindet sich ein Kreuztisch, der eine Arretierung für ein Lichtleitkabel zur optischen Stimulierung besitzt.

Mit dem Lasermodulator PicoQuant MDL300 sind Modulationsfrequenzen bis 2 GHz, einstellbare Modulationstiefe und ein regelbarer DC-Wert realisierbar.

Die optische Stimulierung kann derzeit mit den Wellenlängen 405 nm, 635 nm, 785 nm und 844 nm erfolgen.

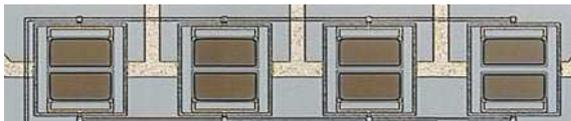


Abb. 1: Fotodiodenteststruktur MLX75002AH

Fig. 1: Photodiode structure MLX75002AH

Die Messung der optischen Leistung erfolgt mit einem Advantest Q8221. Für die Messung der elektrischen Größen kommt ein Parameteranalyzer Agilent E5270A zum Einsatz.

Objectives

At the development of modern switching circuits the measurement of optically excited circuits has gained more and more importance and has always been a challenge for the test engineer. Core elements of the optoelectronic circuits are photodiodes and photodiode arrays. Here the sensitivity is an essential parameter. In this contribution the measurement of sensitivity profiles at photodiodes on wafer level is presented. In the individual case the luminous efficiency, exact positioning over the chip and minimum spot dimensions must be adjusted and optimised. The necessary equipment and the test assembly is described, the test development and measuring results are presented. For two years now the measuring method has successfully been applied.

Course and status of research

Together with the research partner Melexis GmbH Erfurt the IMMS has developed optoelectronic circuits. For the optimisation of diodes test structures are used, which exclusively contain photodiodes without circuit. Figure 1 shows a group of pairs of diodes with varying distance towards each other. By means of line scans statements on the influence of these parameters can be made.

Equipment

Core element of the measuring desk is a wafer prober PA200 by Süss Microtec (Figure 2). The thermo-chuck allows measurements in the temperature range of $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Over the microscope there is a cross stage, which is provided with a fixing device for an optical fibre cable used for optical simulation.

The laser modulator PicoQuant DL300 can realize modulation frequencies to 2 GHz, adjustable modulation depth and adjustable DC-value.

Currently the optical simulation can take place at wavelengths 405 nm, 635 nm, 785 nm and 844nm.

The measurement of the optical power takes place by means of an Advantest Q8221. For the measurement of the electric values a parameter analyser Agilent E5270A is used.

Measuring set-up

The measuring set-up is structured in optical excitement, beam positioning as well as optical and electric measuring. The schematic set-up is shown in figure 3.

Before the exciting laser light is fed into the wafer prober, a beam splitter decouples part of the energy. This part is fed into the optical power measurement unit. Via an optical fibre cable the residual part of the laser light is led into the wa-

Messaufbau

Der Messaufbau gliedert sich in die optische Anregung, die Strahlpositionierung sowie in die optische und in die elektrische Messung. Den schematischen Aufbau zeigt Abbildung 4.

Bevor das anregende Laserlicht in den Waferprober eingespeist wird, koppelt ein Strahlteiler einen Teil der Energie aus. Dieser Anteil wird dem optischen Leistungsmesser zugeführt. Über ein Lichtleitkabel wird der übrige Teil des Laserlichts in den Waferprober geleitet. Das Ende des

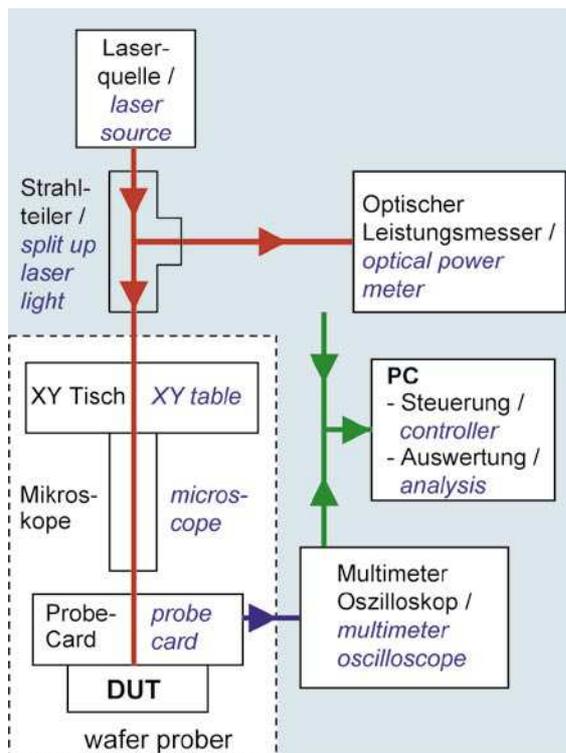


Abb. 3: Schematischer Messaufbau

Fig. 3: Schematic measuring set-up

Lichtleitkabels wird an einem XY-Tisch montiert, der direkt über einem Eingang des Mikroskopes angebracht ist. Durch diesen Aufbau ist es möglich, das Faserende relativ zum Mikroskopeningang und somit den Spot über das DUT zu bewegen.

Abhängig von der Strukturgröße der Fotodioden ist es sinnvoll, die Spotgröße des Laserlichts anzupassen. Dabei steigt das örtliche Auflösungsvermögen mit der Verkleinerung der Spotgröße. Am beschriebenen Messaufbau kann die Spotgröße durch die Variation des Mikroskopobjektives erreicht werden. In Tab. 1 ist die Spotgröße (Halbwertsbreite) in Abhängigkeit vom Mikroskopobjektiv dargestellt.



Abb. 2: Prober PA200 mit Scaneinheit

Fig. 2: Prober PA200 with scan unit

for prober. The end of the optical fibre cable is mounted to a X-Y-stage, which is installed directly at the input of the microscope. Through this set-up it is possible, to move the fibre end relative to the microscope input and with that move the spot over the DUT.

Depending on the structure size of the photodiodes it is useful, to adjust the spot size of the laser light. Here the local resolution capacity increases with the reduction of the spot size. At the described measuring set-up the spot size can be achieved by the variation of the microscope objective. In table 1 the spot size (half-width) is shown in dependence on the microscope objective.

Magnification of the objective	Spot size [μm]
10	18
20	10
50	2

Tab. 1: Spot sizes at different microscope objectives

For the measurement of the electric signals, which are generated by the light incidence, a parameter analyser is used. Apart from an exact measurement of current or voltage it also allows the application of a defined reverse biased voltage at the diode. Synchronous to this measurement the luminous power of the energy decoupled at the beam splitter is measured.

If this measuring method is used for each point that is contained in a scan measurement, a reproduction of the sensitivity distribution is achieved.

Vergößerung des Objektivs	Spotgröße [µm]
10	18
20	10
50	2

Tab. 1: Spotgrößen bei verschiedenen Mikroskopobjektiven

Zur Messung der elektrischen Signale, die durch den Lichteinfall generiert werden, wird ein Parameteranalyzer eingesetzt. Dieser erlaubt neben einer exakten Messung von Strom bzw. Spannung auch das Anlegen einer definierten Sperrspannung an der Diode. Synchron zu dieser Messung wird die Lichtleistung der am Strahlteiler ausgekoppelten Energie gemessen.

Wendet man dieses Messverfahren für jeden Punkt an, den eine Scannmessung enthält, so entsteht daraus ein Abbild der Empfindlichkeitsverteilung.

Am Beispiel der Teststruktur aus Abb. 1 sind auf diese Weise je Spotgröße vier Linescans entstanden, die den Einfluss des Parameters – Diodenabstand – dokumentieren. Insbesondere zeigt sich dabei, dass der Abstand der Dioden Einfluss auf den Einbruch des Summensignals hat.

Für eine flexible Nutzung des Messaufbaus wurde eine Bedienoberfläche entwickelt, mit der sich alle notwendigen Parameter der Testaufgabenstellung anpassen lassen. Dazu zählen:

- Auswahl des Scanbereichs
- Auflösung (Anzahl der Messpunkte)
- Form des Scanweges (Mäander, Parallele, Spirale, Linescan)
- Laserenergie
- Mehrkanalmessung
- Auswahl der Messgeräte und -verfahren

Ergebnisse

Wendet man das oben beschriebene Messverfahren auf ein Diodenpaar der Teststruktur aus Abb. 1 an, so erhält man das Empfindlichkeitsprofil der beiden Dioden (a und b). Darüber hinaus ist in der Abb. 5 die Summenkurve (a+b) dargestellt, deren Einbruch maßgeblich durch den Diodenabstand beeinflusst wird. Der Scanweg geht aus der Abb. 4 hervor.

Parameter des Linescans:

- Spotgröße 2 µm
- Scanlänge 89,0 µm
- Punktzahl 201
- Punktabstand 0,44 µm

Um den Einfluss des Diodenabstandes auf die Summenkurve der Empfindlichkeitsprofile a und b zu verdeutlichen, ist es von Vorteil, die Einbrü-

By the example of the test structure of figure 1, 4 line scans resulted for each spot size, by which the influence of the parameters – diode distance – is documented. In particular it is shown that the distance of the diodes exerts an influence on the decay of the sum signal.

For a flexible use of the measuring set-up an operating surface has been developed, by which all necessary parameters of the test problem definition can be adjusted. These include:

- Selection of the scan area
- Resolution (number of measuring points)
- Shape of the scan way (meander, parallel, spiral, line scan)
- Laser energy
- Multichannel measurement
- Selection of measuring devices and methods

Results

If the above described measuring method is applied to a pair of diodes of the test structure from figure 1, the sensitivity profile of the two diodes (a + b) is achieved. Apart from that the cumulative curve (a + b) is shown in the figure, the decay of which is decisively influenced by the diode distance. The scanned distance can be seen in figure 4.

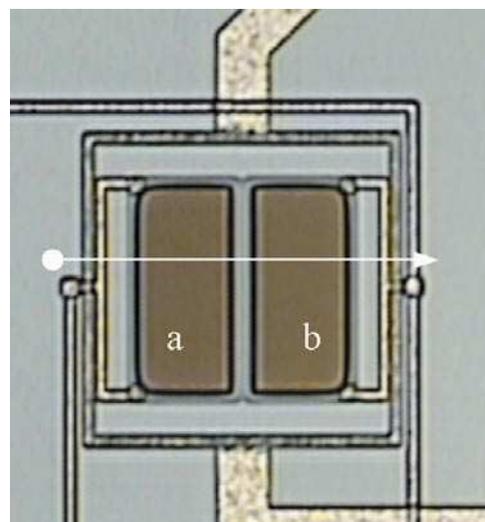


Abb. 4: Scanweg über ein Diodenpaar
Fig. 4: Scan way via a pair of diodes

Parameter of line scan:

- Spot size 2 µm
- Scan length 89.0 µm
- Number of spots 201
- Distance of spots 0.44 µm

In order to explain the influence of the diode distance on the cumulative curve of the sensitivity profile a + b, it is of advantage to plot the cumulative curve a + b in dependence on this parame-

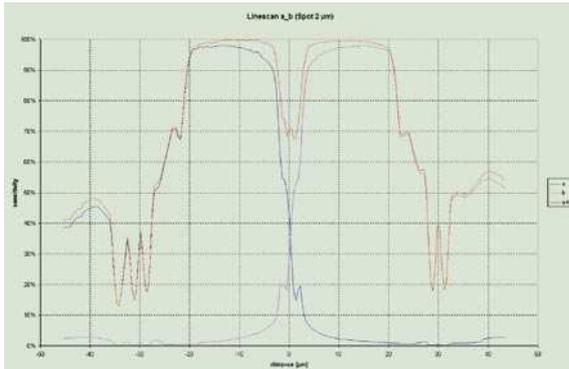


Abb. 5: Empfindlichkeitsprofile a (blau), b (grün) und a + b (rot)

Fig. 5: Sensitivity profiles a (blue), b (green) and a + b (red)

che der Summenkurve a+b in Abhängigkeit von diesem Parameter darzustellen (Abb. 6). Dabei wird deutlich, dass ein größerer Diodenabstand auch zu einem größeren Einbruch der Summenkurve führt.

Ausblick

Durch die Analyse von Diodenteststrukturen können die Strukturen und der Aufbau von Fotodioden innerhalb eines PDIC wesentlich verbessert werden. Die Charakterisierung der Fotodioden im Vorfeld einer Schaltungsentwicklung kann die Performance entscheidend steigern.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse dieser und ähnlicher Teststrukturen stellen einen wesentlichen Teil der erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen der Melexis GmbH Erfurt und der IMMS dar.

ter (Fig. 6). Here it becomes clear that a larger diode distance also leads to a greater drop in the cumulative curve.

Outlook

By the analysis of diode test structures the structures and the set-up of photodiodes within the PDIC can considerably be improved. The characterisation of the photodiodes before the circuit development may decisively increase the performance.

The knowledge gained from the analysis of this and similar test structures represents an essential part of the successful cooperation between the Melexis GmbH Erfurt and the IMMS.

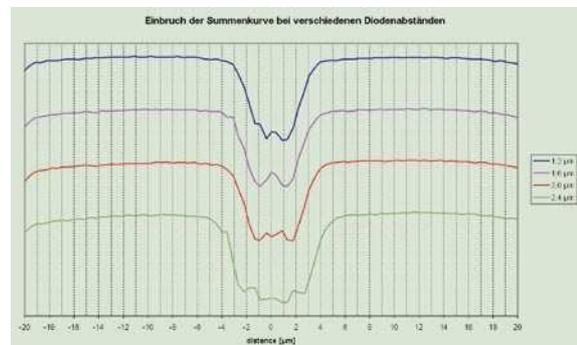


Abb. 6: Einbruch der Summenkurve in Abhängigkeit vom Diodenabstand
 1,2 µm – blau
 1,6 µm – magenta
 2,0 µm – rot
 2,4 µm – grün

Fig. 6: Decay in the cumulative curve in dependence on the diode distance
 1.2 µm – blue
 1.6 µm – magenta
 2.0 µm – red
 2.4 µm – green

Ansprechpartner / Contact :

Dipl.-Ing. Michael Meister

Tel.: +49 (3677) 69-5525

E-Mail: michael.meister@imms.de

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

Ehrenbergstr. 27
D - 98693 Ilmenau
(Thüringen / *Thuringia*)

Geschäftsleitung / *Management*:

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Scarbata
H.-J. Kelm

Sekretariat / *Secretariat*:

Monika Schild

Telefon / *Phone*:

+49 (36 77) 69-5500

Telefax / *Fax*:

+49 (36 77) 69-5515

E-Mail / *email*:

imms@imms.de

www / *www*:

http://www.imms.de

Kontakte / *Contacts*:

System Design /
System Design

PD Dr. - Ing. habil. Hannes Töpfer
Tel.: +49 (3677) 69-5540 / E-Mail: hannes.toepfer@imms.de

Schaltungstechnik -
Mikroelektronik /
*Circuit Technology -
Microelectronics*

Prof. Dr. sc. techn. Franz Rößler
Tel.: +49 (361) 427-6639 / E-Mail: franz.roessler@imms.de

Industrielle Elektronik
und Messtechnik /
*Industrial Electronics
and Measurement
Technology*

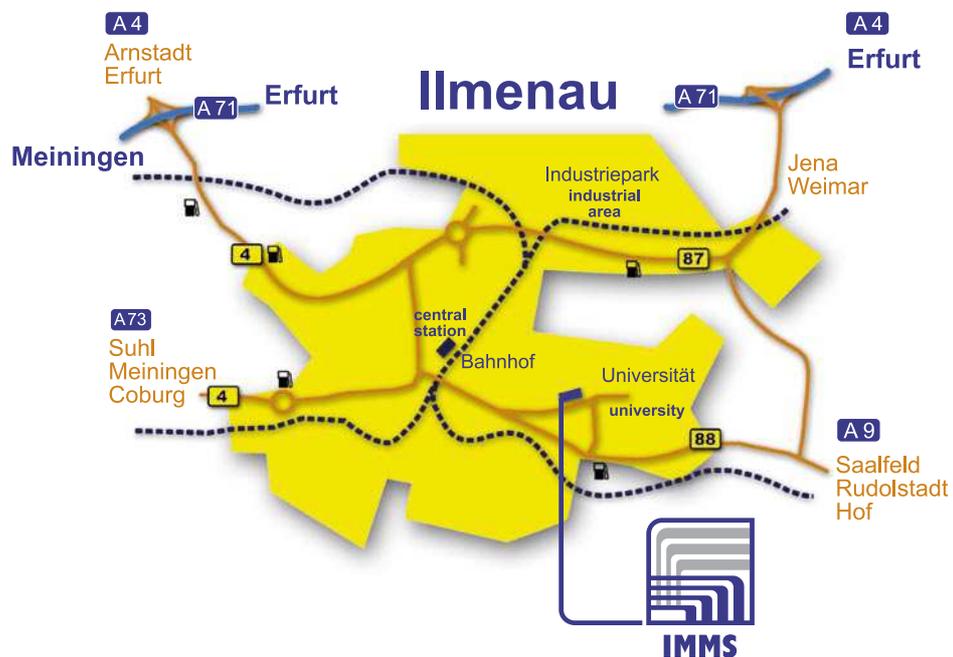
Dr. - Ing. Klaus Förster
Tel.: +49 (3677) 69-5520 / E-Mail: klaus.foerster@imms.de

Mechatronik /
Mechatronics

Dr. - Ing. Christoph Schäffel
Tel.: +49 (3677) 69-5560 / E-Mail: christoph.schaeffel@imms.de

Marketing /
Marketing

Dr. - Ing. Wolfgang Sinn
Tel.: +49 (3677) 69-5514 / E-Mail: wolfgang.sinn@imms.de



Institutsteil / Branch Office Erfurt

Konrad-Zuse-Str. 14
D - 99099 Erfurt (Thüringen / *Thuringia*)

Telefon / *Phone*: +49 (361) 427-6639

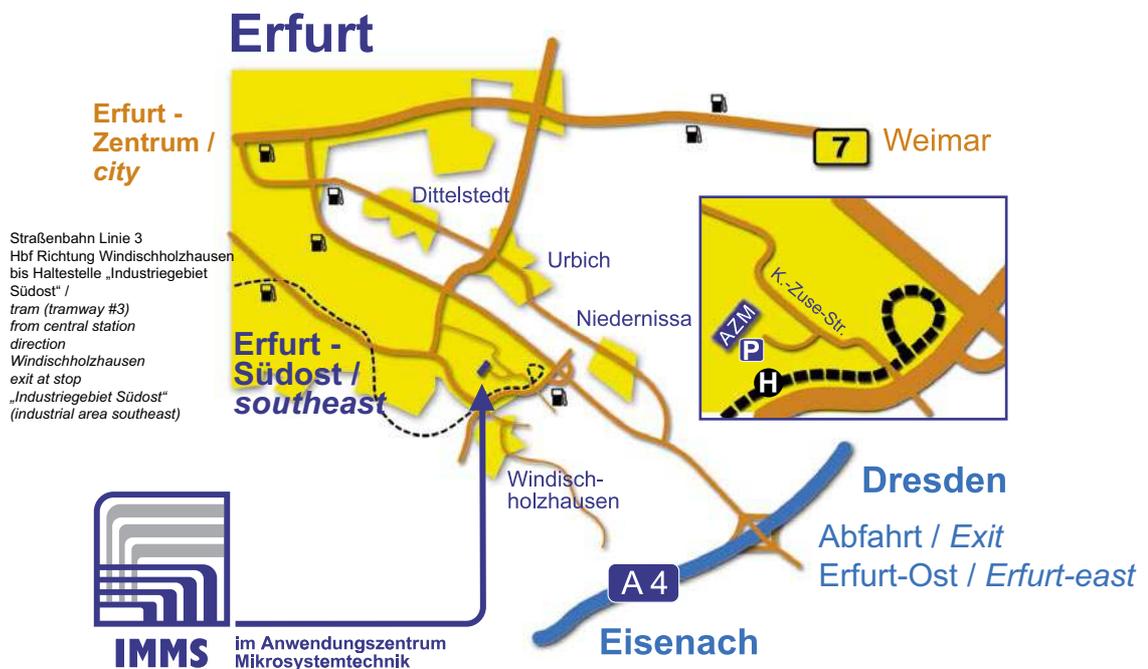
Telefax / *Fax*: +49 (361) 417-0162

Kontakt / *Contact*:

Prof. Dr. sc. techn. Franz Rößler

Telefon / *Phone*: +49 (361) 427-6639

E-Mail / *email*: franz.roessler@imms.de



www.imms.de

Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik - Systeme gGmbH

**Standort / Headquarter Ilmenau
IMMS gGmbH**

Ehrenbergstr. 27
D - 98693 Ilmenau (Thüringen / Thuringia)
Telefon: +49 (36 77) 69-55 00
Telefax: +49 (36 77) 69-55 15

**Institutsteil / Branch office Erfurt
IMMS gGmbH
Schaltungstechnik / Mikroelektronik**

Konrad-Zuse-Str. 14
D - 99099 Erfurt (Thüringen / Thuringia)
Telefon: +49 (3 61) 6 63-25 00
Telefax: +49 (3 61) 6 63-25 01