

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 93 (2002)

**Heft:** 9

**Artikel:** Hochfrequenz-Mikrochips für adaptive WLAN-Antennensysteme bei 5,2 GHz

**Autor:** Ellinger, Frank

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855405>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

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

# Hochfrequenz-Mikrochips für adaptive WLAN-Antennensysteme bei 5,2 GHz

Durch adaptive Antennen können die Übertragungsraten von drahtlosen Netzwerken signifikant verbessert werden. Adaptive Antennensysteme tragen besonders in reflexionsstarken Räumen zu einer wesentlichen Verbesserung der Signalübertragung bei, da sie die Intersymbol-Interferenzen kompensieren können, durch die die maximal möglichen Datenraten begrenzt werden. Auf Grund der hohen Komplexität solcher Systeme müssen jedoch besonders für die Hochfrequenzschaltungen hohe Anforderungen erfüllt werden. Wichtige Kriterien sind hierbei die Senkung des Leistungsverbrauches und die Miniaturisierung der Schaltungen.

Im Gegensatz zum Mobilfunkmarkt wird für lokale, drahtlose Netzwerke<sup>1</sup> (WLAN) ein sehr starkes Wachstum erwartet [1].

Tabelle I zeigt die Umsatzentwicklung zwischen 1998 und 2004. Diesbezüglich werden besonders hohe Marktchancen für den IEEE-802.11a-Standard in den USA und den Etsi<sup>2</sup>-Hiperlan<sup>3</sup>-II Standard in Europa vorhergesagt [2].

Diese Standards, die innerhalb des Frequenzbereiches von 5–6 GHz operieren, sollen sehr hohe Datenraten von bis zu

Frank Ellinger

54 Mbit/s ermöglichen. Insbesondere durch unerwünschte Intersymbol-Interferenzen (ISI) zeitlich dispersiver Datenpakete wird die mögliche Datenrate jedoch stark begrenzt. ISI entstehen durch

Jahr	Umsatz [Mrd. \$]
1998	0,25
1999	0,35
2000	0,5
2001	1,2
2002	2,4
2003	3,5
2004	5,5

Weltweite Umsatzprognosen für drahtlose LAN-Systeme

die unkontrollierte Überlagerung von Signalen, die an Medien im Raum reflektiert werden. Die reflexionsbedingten Zeitverzögerungen können hierbei größer als die Übertragungsdauer eines Datenpaketes sein. Dadurch werden Dateninformationen aufeinander folgender Signale beeinflusst und verfälscht. Die Qualität der Übertragung kann durch die Bit-Fehlerrate (BER) charakterisiert werden. Adaptive Antennensysteme können ISI effizient kompensieren [3,4]. Diese Systeme bestehen aus mehreren Antennen und ermöglichen die kontrollierte Überlagerung der Signale durch Steuerung der Phase und der Amplitude der Antennen-

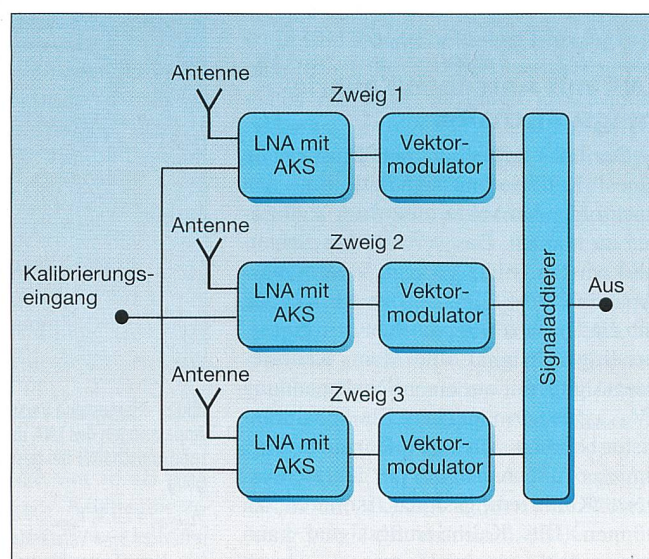
pfade. Es konnte gezeigt werden, dass schon mit Systemen mit nur drei oder vier aktiven Antennen die ISI signifikant reduziert werden kann [5]. Somit kann die BER verringert und die Signalübertragung wesentlich verbessert werden.

In diesem Artikel werden kompakte Hochfrequenzschaltungen mit sehr geringem Leistungsverbrauch präsentiert, welche für die Integration in eine PCMCIA-Laptop-Interface-Karte<sup>4</sup> optimiert wurden. In Bild 1 ist das Schaltbild eines entsprechenden, aus drei aktiven Antennenzweigen bestehenden Hochfrequenzempfängers dargestellt. Jeder einzelne Antennenzweig besteht aus einer Bent Stacked Slot Antenne (BSSA) [6], einem rauscharmen Verstärker (LNA<sup>5</sup>) und einem Vektormodulator zur Amplituden- und Phaseneinstellung. Die Signale der drei Antennenzweige werden durch einen aktiven Signaladdierer zusammengeführt.

Die Schaltungen sind als monolythisch integrierte Hochfrequenzschaltungen (MMIC<sup>6</sup>) [7] ausgeführt, um die Abmessungen des Systems zu minimieren. Diese Schaltungen wurden mittels kommerzieller Gallium-Arsenit-Technologie (Triquint TQTRx) hergestellt, welche Feldeffekt-Transistoren (FETs) mit einer Gatelänge von 0,6 µm zur Verfügung stellt. Gross- und Kleinsignal-Optimierungen der Schaltungen wurden mittels eines modifizierten TOM-II-FET-Modells durchgeführt [8].

Bild 1 Architektur des adaptiven Antennensystems mit drei Antennen

AKS: Antennen/Kalibrierungsschalter



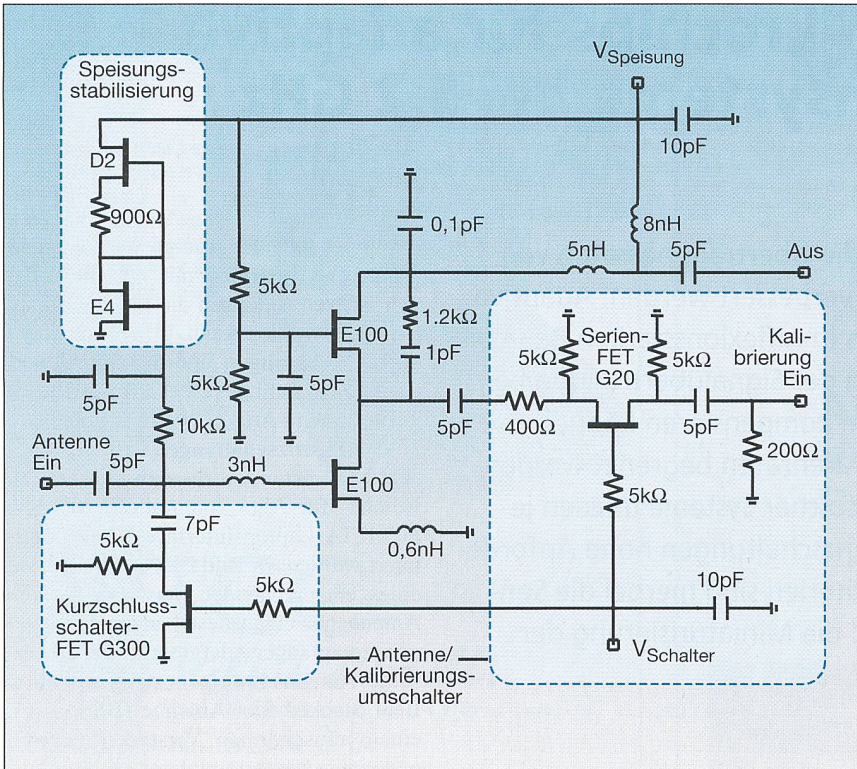


Bild 2 Schaltbild des LNA mit Antennen/Kalibrierungsumschalter

$V_{Schalter} = -3\text{ V}$ : Antennensignal ein, Kalibrierungssignal aus;  $V_{Schalter} = 0\text{ V}$ : Antennensignal aus, Kalibrierungssignal ein

Ein Algorithmus berechnet aus den Empfangssignalen der drei Antennen- zweige die optimalen Vektorkoeffizienten (Phase und Amplitude), die mit dem Optimierungsziel einer Minimierung der BER im Basisband berechnet werden [9]. Der Vektormodulator wird gemäss diesen Vektorkoeffizienten eingestellt. Prozess- toleranzen, Temperaturänderungen und Frequenzabhängigkeiten begrenzen jedoch die Präzision des Vektormodulators. Durch eine einfache Kalibrierungs- prozedur können diese Effekte kompensiert werden.

### LNA mit Antennen/Kalibrierungsumschalter

Der LNA ermöglicht eine Einspeisung eines Kalibrierungssignales, um den nachfolgenden Vektormodulator kalibrieren zu können. Das vereinfachte Schaltbild wird in Bild 2 gezeigt. Verarmungstyp-FETs (G-FETs) werden verwendet, um ein Umschalten zwischen dem Antenneneingangssignal und dem Kalibrierungssignal mit nur einer Schaltspannung ( $V_{Schalter}$ ) zu ermöglichen. Ein Schalttransistor befindet sich am Antenneneingang, um das Antennensignal per Kurzschluss vom Kalibrierungssignal isolieren zu können. Das Kalibrierungssignal kann vom Antenneneingangssignal durch

einen weiteren Schalttransistor, der sich am Kalibrierungseingang befindet, isoliert werden.

Signaleingang und -ausgang des LNA sind reaktiv an die 50-Ω-Normimpedanz angepasst. Diese ist auch im Folgenden die Messimpedanz. Für die aktive Kaskodenverstärkungsschaltung werden Anreicherungstyp-FETs (E-FETs) verwendet, die eine hohe Verstärkung bei geringem Stromverbrauch erreichen. Eine Rück-

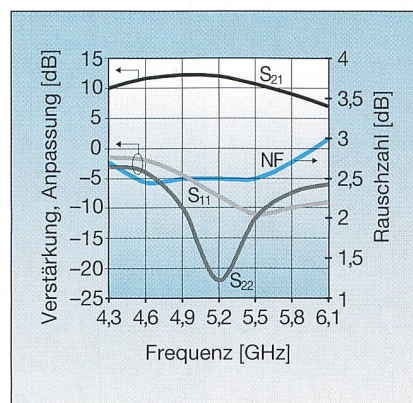


Bild 3 Gemessene Verstärkung, Rauschzahl und Anpassungen des LNA mit Antennen/Kalibrierungsumschalter bei geschalteten Antenneneingang

$V_{Speisung} = 2,7\text{ V}$ ;  $I_{Speisung} = 2,6\text{ mA}$ ;  $S_{11}$  = Eingangsreflexion;  $S_{21}$  = Verstärkung;  $S_{22}$  = Ausgangsreflexion; NF = Noise Factor (Rauschzahl)

kopplung, bestehend aus einer Serienschaltung eines Widerstandes und einer Kapazität, wird für den Common-Gate-FET verwendet, um die Hochfrequenzstabilität zu gewährleisten und um die Schaltung breitbandiger zu machen. Die Source des Common-Source-FET ist induktiv degeneriert, um die Rauscheigenschaften, die Eingangsanpassung und die Intermodulationseigenschaften der Schaltung zu verbessern. Die Gates werden durch hochohmige Widerstände gespeist und die Stromversorgung erfolgt über das Drain des Common-Gate-FET, welches kapazitiv abgeschlossen ist. Eine Schaltung zur Stromstabilisierung wird verwendet, um einen Nominalstrom von etwa 2,5 mA zu definieren.

Bild 3 zeigt die gemessene Verstärkung, das Rauschen und die Anpassung des LNA bei geschaltetem Antenneneingangssignal ( $V_{Schalter} = -3\text{ V}$ ) und einer Betriebsfrequenz von 5,2 GHz. Bei einer Versorgungsspannung von

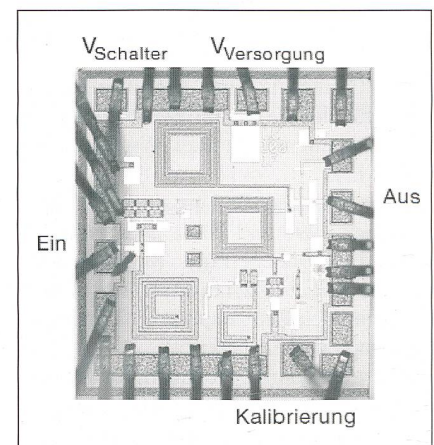


Bild 4 Fotografie des LNA MMIC mit Antennen/Kalibrierungsumschalter

Die Abmessungen betragen  $1 \times 0,9\text{ mm}^2$

2,7 V wird eine Verstärkung von 12 dB, eine Rauschzahl von 2,5 dB und ein 1-dB-Ausgangskompressionspunkt von  $-2\text{ dBm}$  erreicht. Die Eingangs- und ausgangreflexionen sind kleiner als  $-7\text{ dB}$  bzw.  $-22\text{ dB}$ . Die Isolation des Kalibrierungssignales beträgt 33 dB. Im Kalibrierungsmodus ( $V_{Schalter} = 0\text{ V}$ ) beträgt die Isolation des Antenneneingangssignales 20 dB.

In Bild 4 wird eine Fotografie des Mikrochips gezeigt. Die Abmessungen des LNA betragen  $1 \times 0,9\text{ mm}^2$ .

### Vektormodulator zur Phasen- und Amplitudenregelung

Passive Attenuatoren [10] und Verstärker mit einstellbarer Verstärkung [11]

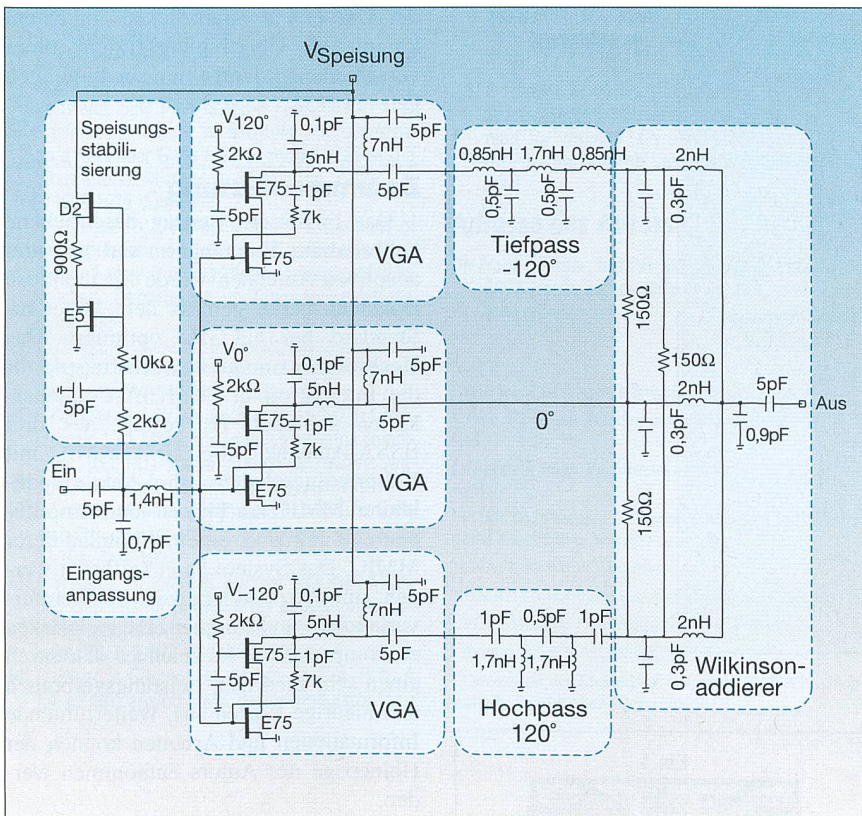


Bild 5 Schaltbild des Vektormodulators

werden häufig benutzt, um die Amplitude in adaptiven Antennensystemen zu regeln. Die Phasenregelung hingegen erfolgt beispielsweise mittels Reflektionsphasenschiebern [12] oder Phasenschiebern mit schaltbaren Phasenfiltern [13]. Im Vergleich zu den genannten Regeltechniken ist das Prinzip des Vektormodulators [14] eine hervorragende Alternative. Sowohl Amplitude als auch Phase können mit einer einzigen Schaltung geregelt werden. Ausserdem ist das Prinzip

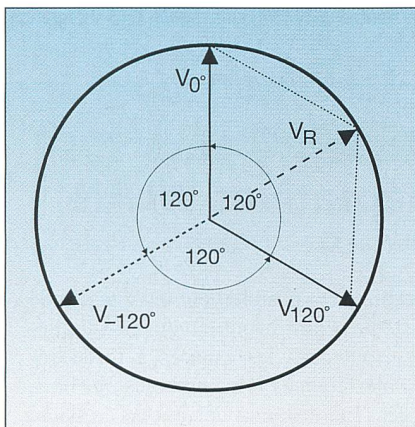


Bild 6 Vektoraddition

Jede beliebige Phase und Amplitude kann eingestellt werden, indem die Vektoren  $V_0$ ,  $V_{120^\circ}$  und  $V_{-120^\circ}$  in ihrer Amplitude gewichtet werden.

des Vektormodulators sehr gut zur kompakten monolithischen Integration geeignet und ermöglicht geringe Signalverluste bzw. Signalverstärkung.

Das vereinfachte Schaltbild des Vektormodulators ist in Bild 5 gezeigt. Der entwickelte Vektormodulator benutzt regelbare Kaskodenverstärker (VGA<sup>7</sup>), die einen sehr hohen Verstärkungsregelbereich aufweisen. Die jeweilige Verstärkung der Pfade kann durch die Kontrollspannungen  $V_{-120^\circ}$ ,  $V_0$  und  $V_{120^\circ}$  eingestellt werden. Durch Phasenfilter (Hochpass- und Tiefpassstrukturen) weisen die drei Pfade Phasendifferenzen von  $120^\circ$  auf. Wie in Bild 6 dargestellt, kann durch das Gewichten und Addieren der drei Pfade ein Phasenregelbereich von  $360^\circ$  erreicht werden. Des Weiteren kann die Gesamtamplitude variiert werden. Das Eingangssignal wird durch die Eingangstransistoren der VGA aufgeteilt. Das Zusammenführen der Signale erfolgt durch einen Wilkinsonaddierer.

Es konnte eine Verstärkung der Pfade von 1 dB bei 5,2 GHz gemessen werden. Die gemessenen Phasendifferenzen zwischen den Pfaden betragen etwa  $120^\circ \pm 3^\circ$ . Ein sehr hoher Kontrollbereich der Verstärkung in Höhe von 33 dB wird erreicht. Ein Teil dieses Kontrollbereiches wird dabei zur Einstellung der relativen Amplituden (Phaseinstellung) be-

nutzt, während der Rest zur Einstellung der Gesamtamplitude verwendet wird. Dementsprechend ergeben sich ein Phasenregelbereich von  $360^\circ$  und ein Amplitudenregelbereich von etwa 15 dB. Bei einer Versorgungsspannung von 2,7 V beträgt der maximale Stromverbrauch pro Pfad 1,6 mA. Somit beträgt der maximale Stromverbrauch der Schaltung 3,2 mA, da im Betrieb immer einer der drei Pfade ausgeschaltet ist und keinen Strom verbraucht. Innerhalb des kompletten Amplituden-Regelbereiches ist der 1-dB-Eingangskompressionspunkt höher als  $-10$  dBm.

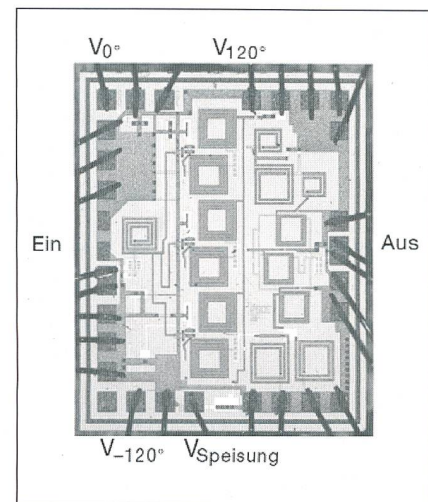


Bild 7 Fotografie des Vektormodulators MMIC  
Die Abmessungen betragen  $1,7 \times 1,4$  mm<sup>2</sup>

Bild 7 zeigt eine Fotografie des Mikročips. Die Abmessungen des Vektormodulators betragen nur  $1,7 \times 1,4$  mm<sup>2</sup>.

### Signaladdierer

Das vereinfachte Schaltbild des Signaladdierers, der die drei Antennensignale addiert und voneinander isoliert, ist in Bild 8 dargestellt. Die Eingangssignale (Ein 1, Ein 2, Ein 3) werden an den Gates der FETs angelegt. Die Signaladdierung erfolgt durch Zusammenführung der Drains. Es finden Verarmungstyp-FETs (D-FETs) Verwendung, die sich durch geringe Intermodulationsverzerrungen und gute Kompressions-eigenschaften auszeichnen. Die Gates werden durch hochohmige Widerstände gespeist, wodurch die Hochfrequenzstabilität gewährleistet und die Schaltung breitbandiger gemacht wird. Die Drains werden durch eine Spule gespeist.

Bei 5,2 GHz, einer Versorgungsspannung von 2,7 V und einem Versorgungsstrom von 10,8 mA wurden eine Verstärkung von 4 dB und ein 1-dB-Kompressionspunkt von 7 dBm pro Pfad gemessen.

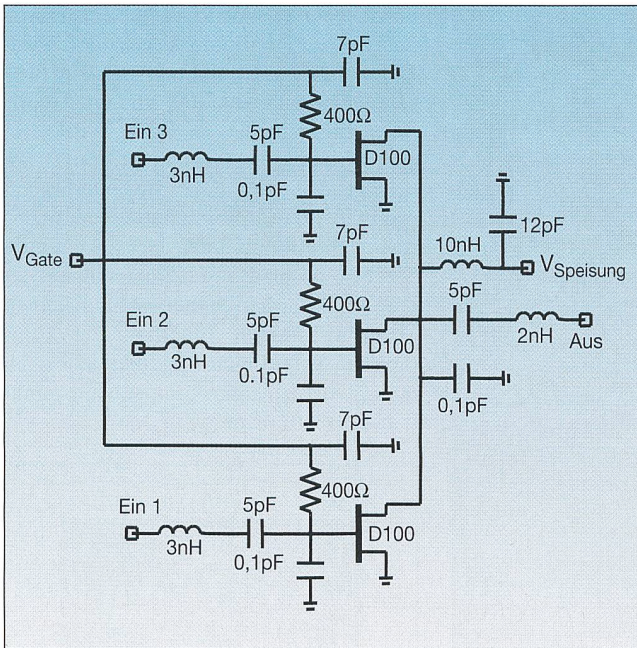


Bild 8 Schaltbild des Signaladdierers

der Universität Saarbrücken<sup>9</sup> in einem kompletten Übertragungssystem unter verschiedenen Umgebungsbedingungen getestet [15].

### Zusammenfassung

Das in diesem Beitrag beschriebene kalibrierbare Empfängermodul mit drei adaptiven Antennen wurde für drahtlose Datennetze gemäss dem Hiperlan-Standard bei 5,2 GHz optimiert. Das Hochfrequenzmodul ist hervorragend für die Integration in PCMCIA-Computerkarten geeignet. Es besteht aus drei BSSA-Antennen, drei LNA MMIC mit Kalibrierungschaltern, drei Vektormodulatoren MMIC zur Phasen- und Amplitudenregelung und einem Signaladdierer MMIC. Das System kann kalibriert werden, um Prozesstoleranzen, Temperaturvariationen und Frequenzabhängigkeiten zu kompensieren. Es zeichnet sich durch einen sehr niedrigen Leistungsverbrauch und niedrige Kosten aus. Weiterführende Informationen und Arbeiten können der Homepage des Autors entnommen werden.

sen. Die Eingangs- und Ausgangsreflexionen sind kleiner als  $-10$  dB bzw.  $-27$  dB.

In Bild 9 wird eine Fotografie des Mikrochips gezeigt. Die Abmessungen des Signaladdierers betragen  $1 \times 1$  mm<sup>2</sup>.

### System

Die beschriebenen MMIC-Schaltungen wurden auf ein Duroid-Substrat montiert und durch Bondverbindungen kontaktiert. Die Abmessungen des Substrates in Höhe von  $2 \times 2 \times 0,1$  Zoll eignen sich für die Integration auf einer PCMCIA-Karte. Zu Testzwecken und zur externen Kontaktierung der Kontroll- und Versorgungsspannungen wurden entsprechende Steckverbindungen angebracht.

Die BSSA-Antennen [6] wurden auf das rückseitenverstärkte Substrat montiert. Die Metallfläche dient als Erdungsfläche der Antennen. Auf Grund der sehr kleinen Abmessungen ( $16 \times 8 \times 5,2$  mm<sup>3</sup>), ihrer geringen Kosten, ihrer hohen Bandbreite von 30%, der hohen Effizienz von 90% und einer Antennenverstärkung von 4 dBi sind diese Antennen hervorragend für kompakte, drahtlose LAN-Anwendungen geeignet.

Jeder einzelne aktive Antennenzweig hat eine maximale Verstärkung von 16 dB, eine Rauschzahl von 3,3 dB und einen 1-dB-Ausgangskompressionspunkt von  $-5$  dBm. Bei einer Versorgungsspannung von 2,7 V beträgt der maximale Stromverbrauch des kompletten Systems nur 28 mA. Der Phasenregelbereich und der Amplitudenregelbereich der Antennenzweige betragen  $360^\circ$  bzw. 15 dB.

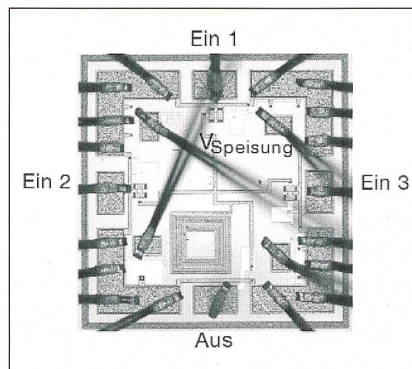


Bild 9 Fotografie des Signaladdierers MMIC

Die Abmessungen betragen  $1 \times 1$  mm<sup>2</sup>

Die insgesamt benötigte Mikrochip-Fläche beträgt nur 10,8 mm<sup>2</sup>, was Kosten von weniger als 10 \$ entspricht.

Das beschriebene Modul wurde erfolgreich vom Industriepartner Ascom<sup>8</sup> und

### Referenzen

- [1] Micrologic Research, «Worldwide market forecast for WLANs. Funkschau, S. 6, Sept. 2000.
- [2] International Data Corporation, Report: Wireless LANs: Worldwide market review and forecast. Juni 1998.
- [3] D. Dahlhaus, A. Jarosc: Konzepte zur linearen Demodulation in der Abwärtsstrecke von UMTS mit WCDMA. SEV Bulletin, Nr. 19, Sept. 2001.
- [4] A. Wittneben, U. Dettmar: A low cost noncoherent receiver with adaptive antenna combining for high speed wireless LANs. IEEE 47th Vehicular Technology Conference, Bd. 1, S. 173-177, Mai 1997.
- [5] A. Wittneben, U. Dersch: On the potential of adaptive antenna combining for intersymbol interference reduction in high speed wireless LANs. IEEE 47th Vehicular Technology Conference, Bd. 2, S. 627-631, Mai 1997.
- [6] M. Liebendörfer, U. Dersch: Wireless LAN diversity antenna system for PCMCIA card integration.

## Micropuces haute fréquence pour systèmes d'antennes adaptatives WLAN à 5,2 GHz

Des antennes adaptatives permettent d'augmenter sensiblement les vitesses de transmission sur les réseaux sans fil. Ces systèmes contribuent largement à l'amélioration de la transmission des signaux surtout dans les espaces à fortes réflexions, étant en mesure de compenser les interférences intersymboles qui limitent les taux de données maximaux possibles. Etant donné néanmoins la haute complexité de tels systèmes, des exigences élevées sont posées surtout aux circuits à haute fréquence. Les principaux critères sont la réduction de la consommation et la miniaturisation des circuits.

- IEEE 47th Vehicular Technology Conference, Bd. 3, S. 2022-2026, Mai 1997.
- [7] F. Ellinger: Monolithic integrated circuits for smart antenna receivers. Hartung-Gorre Verlag, Konstanz, ISBN 3-89649-663-8, Feb. 2001.
- [8] F. Ellinger, J. Kucera, W. Bächtold: Improvements on a nonlinear GaAs MESFET model. IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Baltimore, S. 1623-1626, Juni 1998.
- [9] F. Königsstein: Development and assessment of algorithms for the adaption and calibration of an antenna array. Diploma Thesis, University of Saarbrücken, Department of Telecommunications, März 1999.
- [10] S. Dingo, R. Meierer, R. North: Computer-aided design of MMIC variable attenuators. Microwave Journal, S. 134-140, Nov. 1997.
- [11] F. Ellinger, U. Lott, W. Bächtold: A 5.2 GHz variable gain LNA MMIC for adaptive antenna combining. IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Anaheim, Bd. 2, S. 87-89, Juni 1999.
- [12] F. Di Paolo: A simple, high yield 6 to 18 GHz GaAs monolithic phase shifter. Microwave Journal, S. 92-104, April 1997.
- [13] J. Wallace, H. Redd, R. Furlow: Low cost MMIC DBS chip sets for phased array applications. IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Anaheim, Bd. 2, S. 677-680, Juni 1999.
- [14] J. Grajal, J. Gismero, M. Mahfoudi, F. A. Petz: A 1.4-2.7 GHz analog MMIC vector modulator for a

crossbar beamforming network. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Bd. 45, Nr. 10, S. 1705-1714, Okt. 1997.

- [15] F. Ellinger, M. Kuhn, A. Wittneben, W. Bächtold: Space diversity receiver with adaptive RF combining for wireless LAN at C-band. Submitted to IEEE Transactions on Vehicular Technology, Aug. 2001.

#### Adresse des Autors

Dr. Frank Ellinger, Institut für Elektronik, ETH-Zürich, 8092 Zürich, ellinger@ife.ee.ethz.ch, www.ife.ee.ethz.ch/~ellinger

<sup>1</sup> Wireless Local Area Networks, abgekürzt: WLAN

<sup>2</sup> Etsi: European Telecommunications Standards Institute

<sup>3</sup> Hiperlan: High Performance Radio Local Area Network

<sup>4</sup> PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association, www.pcmcia.org

<sup>5</sup> LNA: Low Noise Amplifier

<sup>6</sup> MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuits

<sup>7</sup> VGA: Variable Gain Amplifier

<sup>8</sup> Ascom, AR&T, Mägenwil, Schweiz

<sup>9</sup> Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, Saarbrücken, Deutschland

# USV

## 400 VA – 8000 kVA

Erfahrenes Team, perfekte

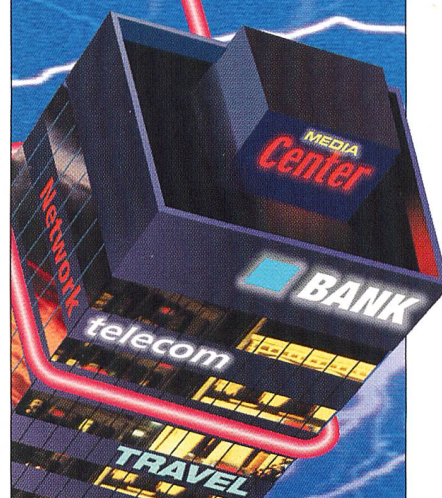
Organisation und hervor-

ragende Produkte:

CTA – alles für die

sichere Strom-

versorgung!



# CTA

Energy Systems

Bern CTA Energy Systems AG  
Hunzikenstrasse 2, 3110 Münsingen  
Telefon 031 720 10 43  
Fax 031 720 10 50

Baar CTA Energy Systems AG  
Blegistrasse 13, 6340 Baar  
Telefon 041 766 40 00  
Fax 041 766 40 09

www.usv.ch  
usv@cta.ch

Sie konzentrieren sich auf Ihr Geschäft ...

... den Rest erledigen wir:  
**TSM® – Total Security Management.**

wie – wo – was? – Fragen Sie  
einfach uns ...

Zum Beispiel:

Risikoanalysen, EMV-Prüfungen,  
Bedienungsanleitungen, Entwick-  
lungsberatung, Vorbeurteilungen



Details unter [www.sev.ch](http://www.sev.ch)

... Kontaktpersonen:

Markus Aellig, Tel 01 956 13 30  
markus.aellig@sev.ch

Heinz Uhlmann, Tel. 01 956 13 34  
heinz.uhlmann@sev.ch