



Doctoral Thesis

Integrated coplanar millimeter wave circuits using InP HEMTs

Author(s):

Schefer, Matthias

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001843353> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH ex. B

Diss. ETH No. 12363

Integrated Coplanar Millimeter Wave Circuits Using InP HEMTs

A thesis submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of

DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

Matthias Schefer
Dipl. El.-Ing. ETH

born June 26, 1968
citizen of Bühler AR, Switzerland



Gate

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. W. Bächtold, examiner
Prof. Dr. Q. Huang, co-examiner

1997

Abstract

In this work, state-of-the-art integrated millimeter wave circuits were developed. The active devices were InP HEMTs, fabricated with an in-house technology, showing a transit frequency (f_t) and a maximum frequency of oscillation (f_{\max}) of > 130 GHz and > 200 GHz respectively.

As a basis for the circuit design, the active and the passive devices had first to be characterized. A bias dependent small-signal equivalent circuit was developed for the HEMT device.

Passive elements are important for designing millimeter wave circuits, particularly the transmission lines used for matching and biasing. A substantial effort was put into the modeling of the coplanar transmission lines because the models implemented in the available simulation tool were inadequate. Junctions and other discontinuities were calculated with an electromagnetic simulation tool. The results were compared with measured data, and an excellent agreement was found. Resistors and capacitors were also fabricated, and their electrical properties determined from measurements.

The required circuits for a millimeter wave receiver were developed and characterized: single stage and two stage amplifiers, fundamental oscillators with and without tuning possibility, passive and active mixers. The gain of the single stage Q- and V-band amplifiers with off-chip bias was only 1

to 2 dB lower than the maximum available gain of the single HEMT device.

The demonstrated two stage variable gain amplifier consisted of a single gate HEMT in the first stage and a dual-gate HEMT in the second stage. The dual-gate HEMT is an optimum device for variable gain amplifiers because it has a higher gain but the same size as a single gate HEMT; the gain can be controlled with the DC voltage applied to the second gate. A state-of-the-art gain control range better than 32 dB was achieved with a maximum gain of 25 dB at 48 GHz.

Two fundamental oscillators were designed and fabricated. The free-running oscillator without tuning possibility has the drawback that the frequency of oscillation cannot be changed externally and that it depends not only on the design but also on process variations. Therefore, a varactor tunable oscillator was developed. A large tuning range of 6 GHz (at 59 GHz) was achieved. Injection locking with a subharmonic is possible and reduces the phase noise to -75 dBc/Hz at 100 kHz offset.

As an alternative to fundamental oscillators, a low frequency oscillator with a frequency multiplier can be used. For this purpose, a V-band doubler was demonstrated. Conversion gain and a bandwidth of 6 GHz were accomplished.

For the frequency conversion from V-band to microwave frequencies, active and passive HEMT mixers were investigated. The passive HEMT mixer has the advantage that it is unconditionally stable, does not consume DC power, has separated LO and RF ports and can handle higher signal power. The loss is comparable to diode mixers but in contrast to diode mixers, it is compatible with integrated circuit technology. The measured minimum conversion loss was 10 dB. The benefit of the active mixer is the gain. Gain can make additional amplifiers obsolete and the requirements concerning noise figure are lowered. For this mixer, a conversion gain of 5 dB and a double sideband noise figure of 6.6 dB were obtained.

An excellent agreement between the measured and simulated scattering parameters of the millimeter wave circuits including the passive elements was achieved. The crucial point was the calculation of the scattering parameters of coplanar discontinuities using an electromagnetic simulator.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden integrierte Millimeterwellenschaltungen in Koplanartechnik entwickelt und charakterisiert. Die dazu verwendete Technologie, entwickelt an unserem Institut, basiert auf InP HEMTs, welche eine Transitfrequenz von über 130 GHz und eine maximale Oszillationsfrequenz von über 200 GHz zeigen.

Als Grundlage für die Schaltungsentwicklung wurden zuerst die verwendeten Transistoren und die passiven Elemente charakterisiert. Dazu wurde ein spannungsabhängiges Transistorkleinsignalersatzschaltbild entwickelt.

Die wichtigsten passiven Elemente sind die koplanaren Leitungen, da sie zum Anpassen und zum Einspeisen der Gleichspannungen verwendet werden. Da das benutzte Simulationsprogramm über ungenügende Koplanarleitungsmodelle verfügte, wurde spezielles Augenmerk auf die Modellierung der Koplanarleitung gelegt. Die Streuparameter von Verzweigungen und anderen Diskontinuitäten wurden deshalb mit einem Feldsimulator berechnet. Der Vergleich der berechneten Daten mit Messungen an Teststrukturen ergab eine sehr gute Übereinstimmung bis in den Millimeterwellenbereich.

Die folgenden Millimeterwellenschaltungen, welche die Grundlage für einen Empfänger bilden, wurden behandelt: einstufiger und zweistufiger Verstärker, Grundwellenoszillatoren, ein Verdoppler, passive und aktive Mischer. Die Ver-

stärkung der einstufigen Q- und V-Band-Verstärker lag nur 1 bis 2 dB unter dem MAG des Einzeltransistors.

Der entwickelte zweistufige Verstärker, bei welchem die Verstärkung mit einer externen Gleichspannung eingestellt werden kann (VGA), besteht aus einem Einzel-HEMT in der ersten Stufe und einem Dual-Gate-HEMT in der zweiten Stufe. Der Dual-Gate-HEMT ist ein idealer Transistor für diese Anwendung, da er bei gleicher Grösse eine höhere Verstärkung als der Einzel-HEMT zeigt; zudem ermöglicht er es, die Verstärkung auf einfache Weise regeln zu können. Ein ausgezeichneter Steuerungsbereich der Verstärkung von über 32 dB mit einer maximalen Verstärkung von 25 dB konnte erreicht werden.

Zwei verschiedene Grundwellenoszillatoren wurden hergestellt. Beim Oszillator ohne externe Einstellmöglichkeit wird die Frequenz durch einen Leitungsresonator bestimmt. Der Nachteil liegt darin, dass die Schwingfrequenz nicht verändert werden kann und eine bestimmte vorgegebene Frequenz wegen Prozessschwankungen kaum erreicht werden kann. Deshalb wurde ein weiterer Oszillator entwickelt, bei welchem die Schwingfrequenz mittels Varaktor verändert werden kann. Die mögliche Änderung der Frequenz beträgt 6 GHz bei einer Mittenfrequenz von 59 GHz. Zudem kann dieser Oszillator mit einer Subharmonischen gelockt werden, was das Phasenrauschen auf ungefähr -75 dBc/Hz bei 100 kHz Abstand zum Träger reduziert.

Eine Alternative zum Grundwellenoszillator bietet ein tieffrequenter Oszillator mit nachgeschaltetem Frequenzmultiplikator. Daher wurde ein V-Band-Verdoppler hergestellt. Ein Konversionsgewinn und eine Bandbreite von 6 GHz wurden gezeigt.

Um eine Frequenzkonversion vom Millimeterwellenbereich in den Mikrowellenbereich vornehmen zu können, wurden aktive und passive HEMT-Mischer untersucht. Die Vorteile des passiven Mixers liegen in der absoluten Stabilität und in der Isolation zwischen den LO- und RF-Toren. Zudem muss keine DC-Leistung zugeführt werden, und es können höhere Signalleistungen verarbeitet werden. Im Gegensatz zu einem Diodenmischer, welcher einen vergleichbaren Konversionsverlust hat, ist der passive HEMT-Mischer kompatibel mit integrierter Prozesstechnologie. Der aktive Mischer besticht durch seine Konversionsverstärkung, wodurch zusätzliche Verstärker eingespart werden können.

Für all die erwähnten Millimeterwellenschaltungen, inklusive passiver Elemente, konnte eine ausgezeichnete Übereinstimmung der simulierten und gemessenen Streuparameter gezeigt werden. Dies war nur möglich dank der genauen Modellierung der Koplanardiskontinuitäten.