

Studienarbeit

Oberwellen-Mischer für 24GHz-CW-Radar

Daniel Capelle

Fachbereich Elektrotechnik, Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik
Prof. Dr. Ing. K. Solbach

28. Januar 2008

Übersicht

- 1 Grundlagen
 - Radarprinzip
 - Mischung
- 2 ADS
- 3 Mischer
- 4 Verstärker
- 5 Literatur

Blockschaltbild

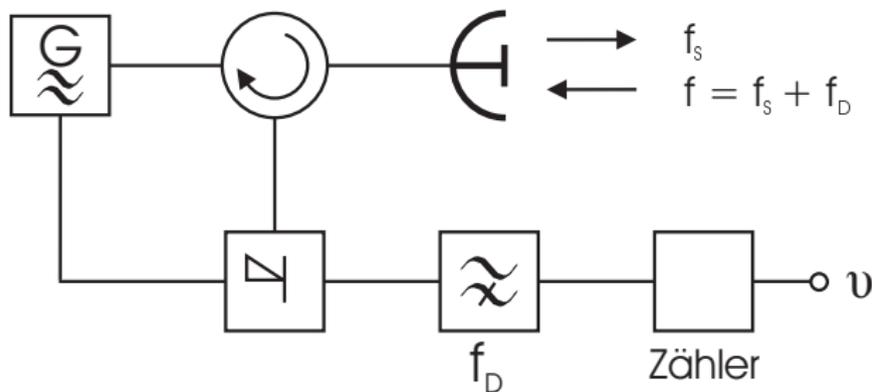


Abbildung: CW-Radar¹

¹Quelle: Voges Hochfrequenztechnik

Schottky Dioden, antiparallel

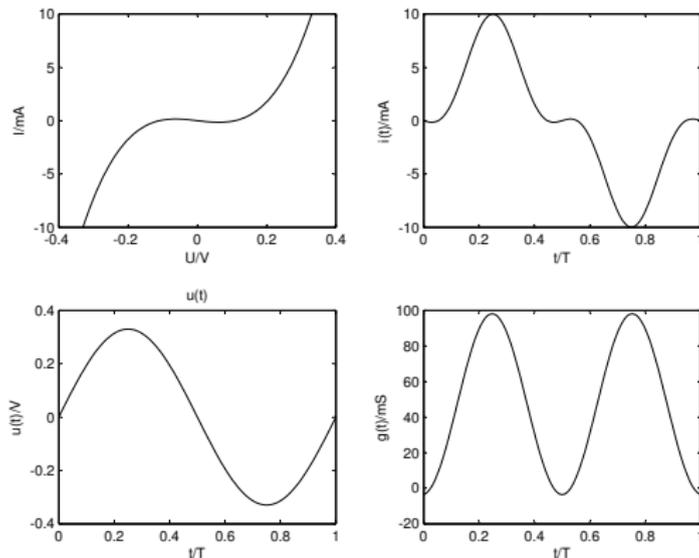


Abbildung: Kennlinie und Zeitfunktionen

Beschreibung der Mischung

$$I(U) \approx k_3 U^3 + k_1 U$$

$$\begin{aligned}
 U^3 &= (A \cos(2\pi f_S t) + A_D \cos(2\pi f t))^3 \\
 &= A^3 \cos^3(2\pi f_S t) + A_D^3 \cos^3(2\pi f t) \\
 &\quad + 3A \cos(2\pi f_S t) A_D^2 \cos^2(2\pi f t) + 3A^2 \cos^2(2\pi f_S t) A_D \cos(2\pi f t) \\
 &= A^3 \cos^3(2\pi f_S t) + A_D^3 \cos^3(2\pi f t) \\
 &\quad + \frac{3}{2} A A_D^2 \cos(2\pi f_S t) (1 + \cos(2\pi 2f t)) + \frac{3}{2} A^2 A_D (1 + \cos(2\pi 2f_S t)) \cos(2\pi f t) \\
 &= A^3 \cos^3(2\pi f_S t) + A_D^3 \cos^3(2\pi f t) \\
 &\quad + \frac{3}{2} A A_D^2 \left(\cos(2\pi f_S t) + \frac{1}{2} \cos(2\pi(2f - f_S)t) + \cos(2\pi(2f + f_S)t) \right) \\
 &\quad + \frac{3}{2} A^2 A_D \left(\cos(2\pi f t) + \frac{1}{2} \cos(2\pi(2f_S - f)t) + \cos(2\pi(2f_S + f)t) \right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Grafische Darstellung im Spektralbereich

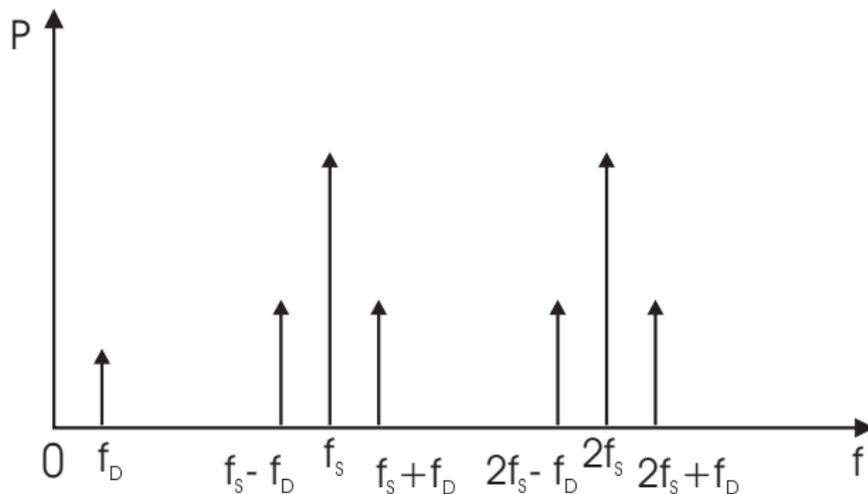


Abbildung: Abwärtsmischung²

²Quelle: Voges Hochfrequenztechnik

Übersicht

- 1 Grundlagen
- 2 ADS**
 - Entwurf und Simulation
 - Optimierung
- 3 Mischer
- 4 Verstärker
- 5 Literatur

Dioden- und Transistor-Modelle

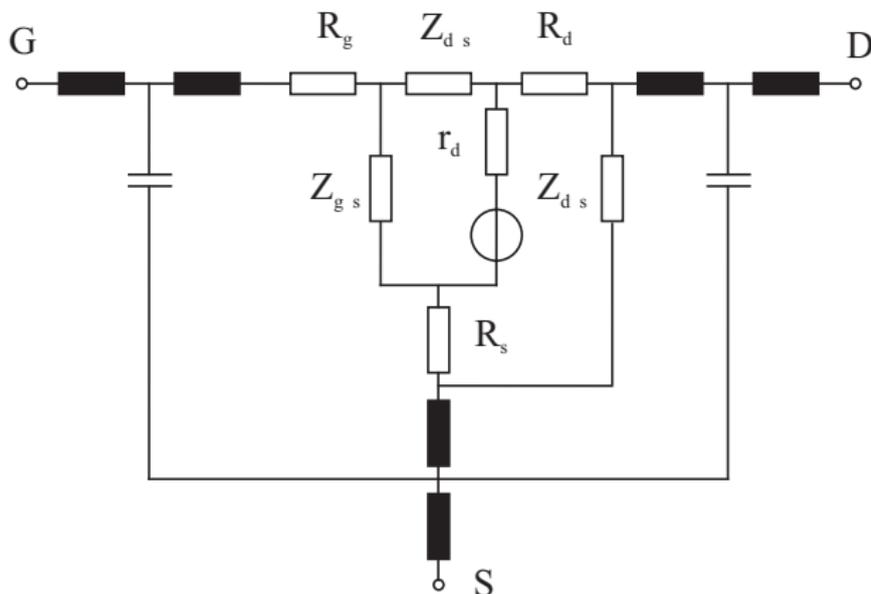


Abbildung: FET-Ersatzschaltung³

³Quelle: Voges Hochfrequenztechnik

Schematic-Editor

Der Schaltplan Editor beinhaltet die Möglichkeit zur hierarchischen Aufteilung der Schaltung. Hersteller-Bauelemente sind in Bibliotheken verfügbar und Messwerte können zB. als Touchstone-Files eingebunden werden. Zur Simulation stehen unter anderen folgende Kategorien von Komponenten zur Verfügung:

- S-Parameter
- Großsignal S-Parameter
- Harmonic Balance
- Transienten

Design Guide

Der im Schematic-Editor integrierte Design Guide stellt zum automatisierten Entwurf von Microstrip-Schaltungen nach folgenden Gruppen sortierte, passive Komponenten zur Verfügung:

- Lines
- RLC
- Couplers
- Filters
- Matching

Der Entwurf ist automatisiert bzgl. Dimensionierung, Optimierung, Simulation und Darstellung von Simulationsergebnissen.

Layout-Editor

ADS kann ein zum Schaltplan konsistentes Layout generieren. Weiterhin lassen sich auch Kupferflächen unabhängig vom Schaltplan einzeichnen.

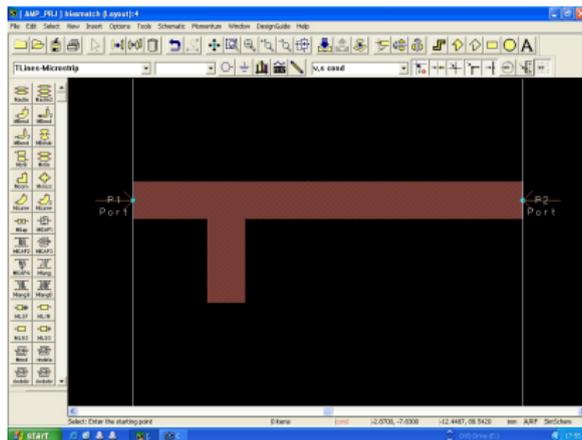


Abbildung: ADS-Layout-Editor

Momentum

Der Layout-Editor erlaubt eine Simulation der Schaltung über die Berechnung von elektromagnetischen Feldverteilungen. Es bietet sich die Möglichkeit einer Verifizierung der Simulationsergebnisse des Schematic-Editors für Microstrip-Schaltungen über die Grenzen der dort definierten Modelle hinaus.

ADS Momentum Visualization

(Loading ...)

Parameter der Optimierung

Die Optimierung von Parametern der Schaltung kann sowohl im Schaltplan Editor, als auch im Layout-Editor erfolgen. Es werden hierfür die Parameter selbst, ihre Schranken und die zu optimierenden Eigenschaften, die Goals, definiert. Im Layout Editor erfolgt die Definition der Parameter mit Modifikationen des Layouts, den jeweiligen perturbed Layouts.

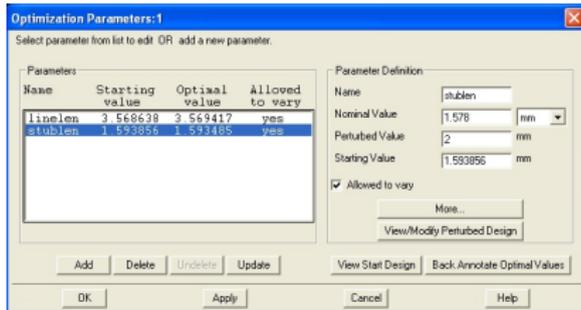


Abbildung: Optimization Parameters im Layout-Editor

Übersicht

- 1 Grundlagen
- 2 ADS
- 3 Mischer**
 - Vorgehensweise
 - Messung
 - Ausführung
- 4 Verstärker
- 5 Literatur

Mischer-Entwurf

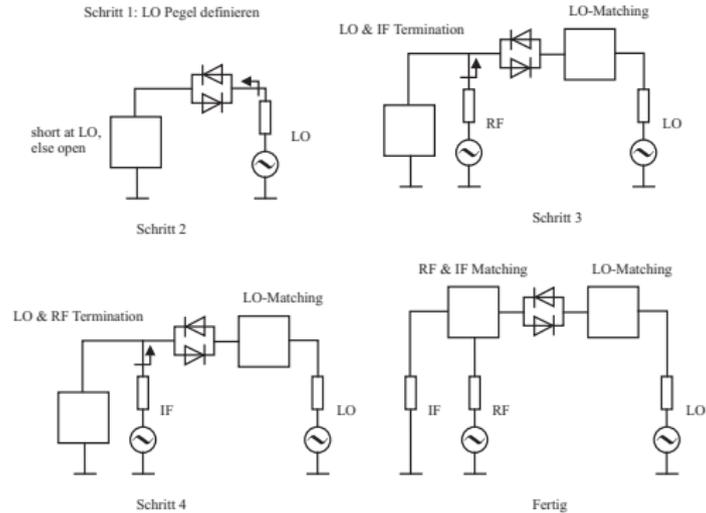


Abbildung: Sukzessiver Mischer Entwurf⁴

⁴Quelle: RF Signal Processing

Dioden-Simulation in ADS

Die simulierten Frequenzen $f=1\text{GHz}$, $f=6.5\text{GHz}$ und $f=12\text{GHz}$ ergaben zunehmend induktives Verhalten. Auch mit einer Großsignal-S-Parameter-Simulation, sowie einer HB-Simulation konnten keine brauchbaren Ergebnisse erreicht werden.

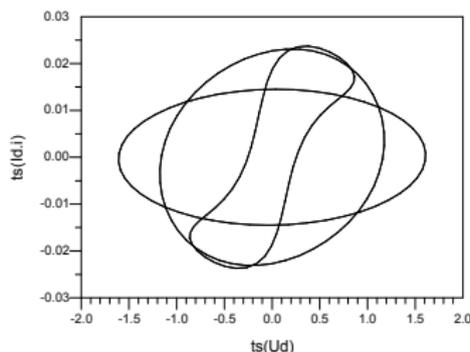


Abbildung: Simulierte Kennlinien der Dioden

Messaufbau

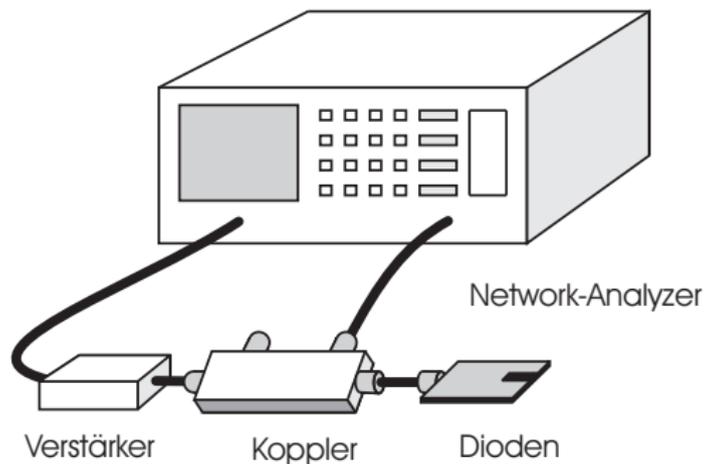


Abbildung: Messung der Dioden

Messwertkorrektur

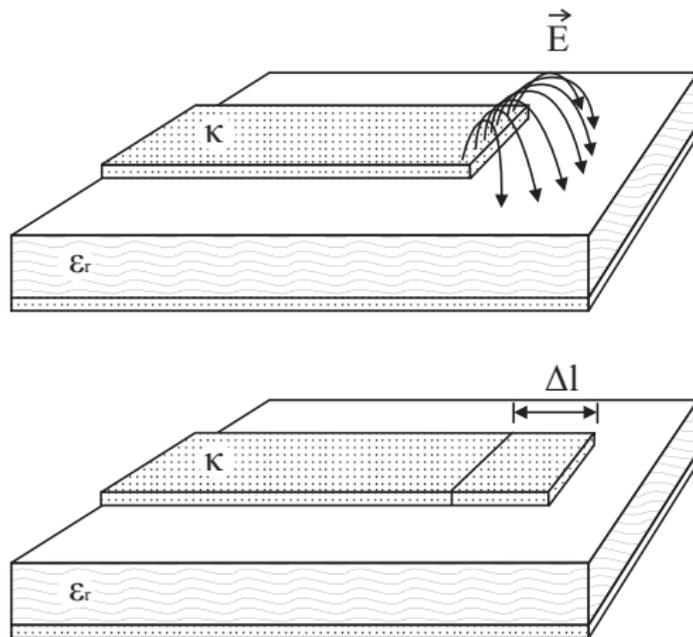


Abbildung: Open-End-Effect

Beschreibung des Open-End-Effect

$$\frac{C}{w} = \exp \left(\ln(10) \sum_{i=1}^5 c_i(\epsilon_r) \log^{i-1}(w/h) \right),$$

$$X_O = -\frac{Z_0}{\tan(\beta \Delta l)},$$

$$X_C = -\frac{1}{2\pi f C}$$

$$\Delta l \ll \lambda, \tan(\beta \Delta l) \approx \beta \Delta l, \lambda \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} = \lambda_0 = c/f$$

$$\frac{1}{2\pi f C} \approx \frac{Z_0 \lambda}{2\pi \Delta l} = \frac{Z_0 c}{2\pi f \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \Delta l} \Leftrightarrow \Delta l \approx \frac{C Z_0 c}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$$

für Frequenzen $f \ll 20$ GHz

Ergebnisse im Smith-Chart

Die gemessenen Dioden wurden mit in Matlab ermittelten Polynomen beschrieben:

$$A = a_2 P^2 + a_1 P + a_0$$

$$\Phi = \phi_3 P^3 + \phi_2 P^2 + \phi_1 P + \phi_0$$

Die jeweiligen Koeffizienten sind gegeben als

$$a_2 = 0.0013, a_1 = -0.0101 \text{ und } a_0 = 0.7192, \text{ bzw.}$$

$$\phi_3 = -0.0002, \phi_2 = 0.0037, \phi_1 = 0.0183 \text{ und } \phi_0 = 0.2217.$$

Ergebnisse im Smith-Chart

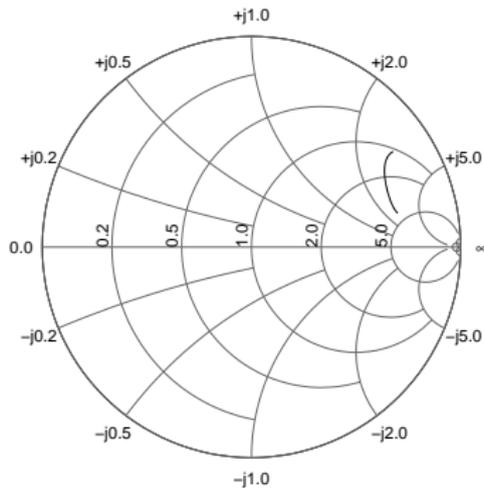


Abbildung: Dioden, s_{11} genähert

Verwendung in ADS

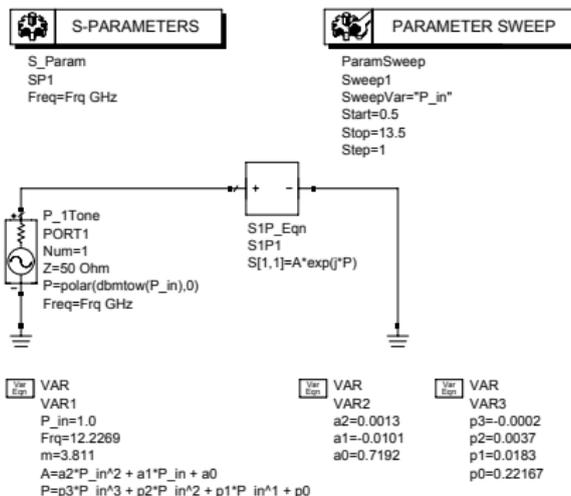


Abbildung: Implementierung der Dioden-Messwerte in ADS

Layout

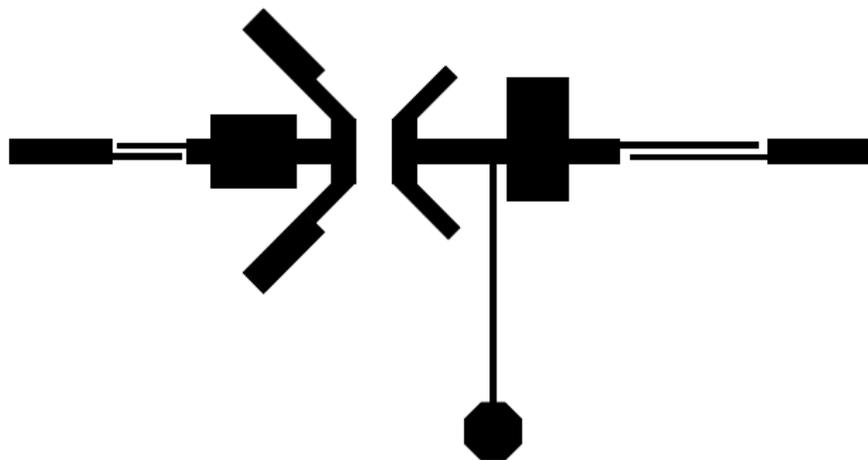


Abbildung: Entwurf für 0.25mm Platinenmaterial

Schaltungsaufbau

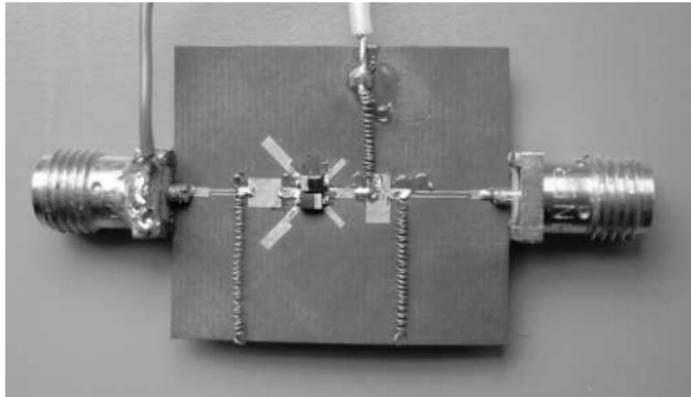


Abbildung: Mischer-Platine

Messergebnisse

f_O	f_S	$P_{out}@f_{ZF}$
12 GHz	24.010 GHz	-47 dBm
12 GHz	24.020 GHz	-41 dBm
12 GHz	24.050 GHz	-33 dBm
12 GHz	24.100 GHz	-30 dBm
12 GHz	24.200 GHz	-30 dBm
12 GHz	24.500 GHz	-35 dBm

Tabelle: Konversionsverluste des Mixers

Übersicht

- 1 Grundlagen
- 2 ADS
- 3 Mischer
- 4 Verstärker**
 - Entwurf und Simulation
 - Messergebnisse
- 5 Literatur

Berechnung in ADS

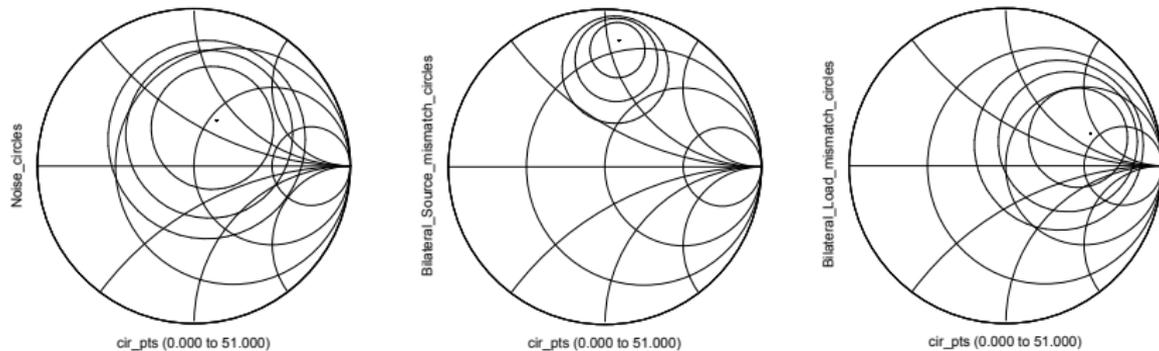


Abbildung: Kreise konstanter Rauschzahl und konstanten Gewinns

Anpassung

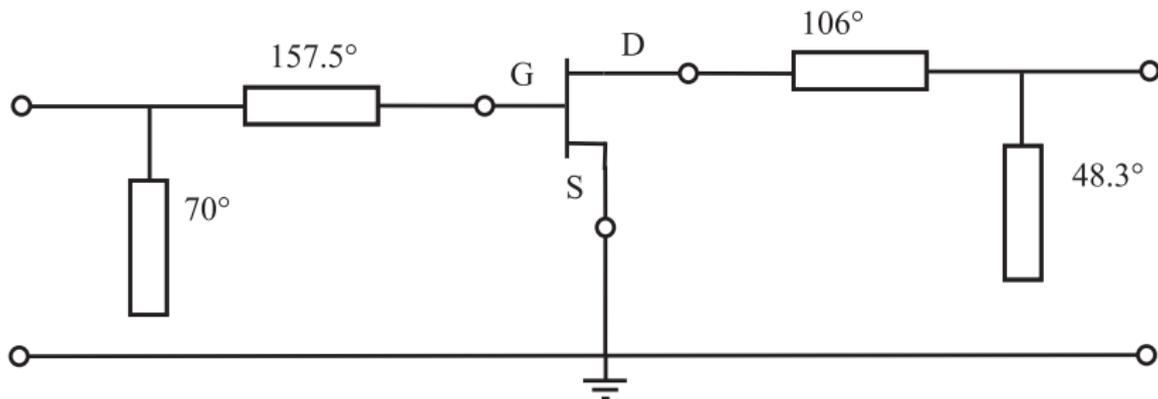


Abbildung: Anpassnetzwerke mit Leitung und Stub

Layout

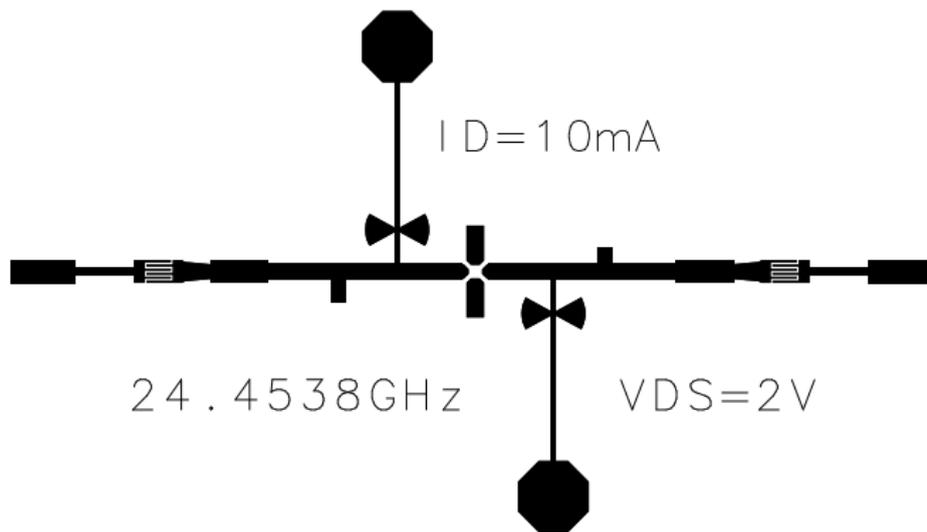


Abbildung: Entwurf für 0.5mm Platinenmaterial

Simulationsergebnisse

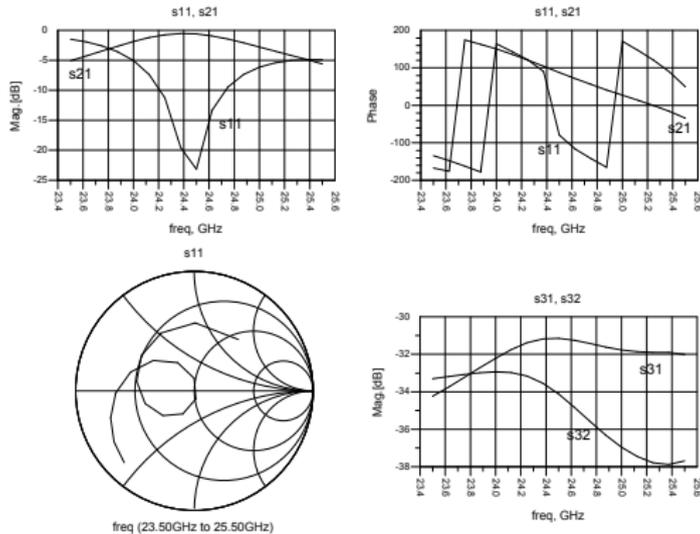


Abbildung: Streuparameter des Eingangsnetzwerkes

Transistor-Testaufbau

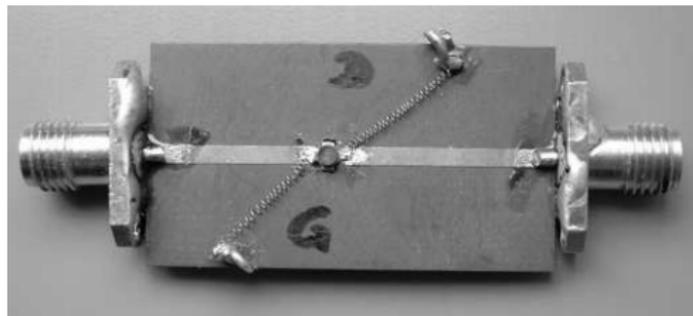


Abbildung: 50 Ohm Leitung mit Transistor und Gleichspannungszuführung

Messung des Transistor-Testaufbaus

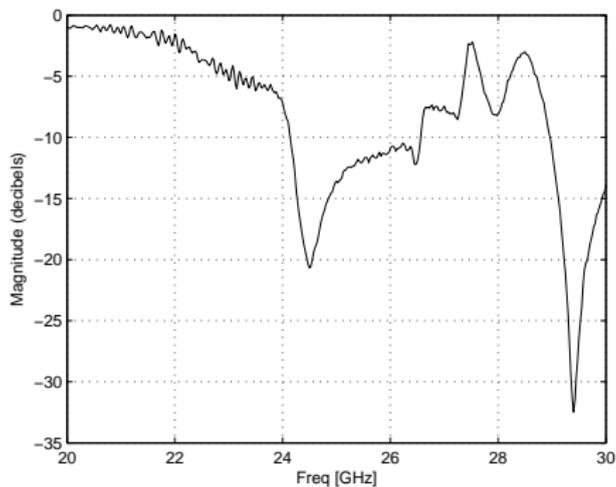


Abbildung: angepasster Verstärker, s_{21}

SMA-Verbinder

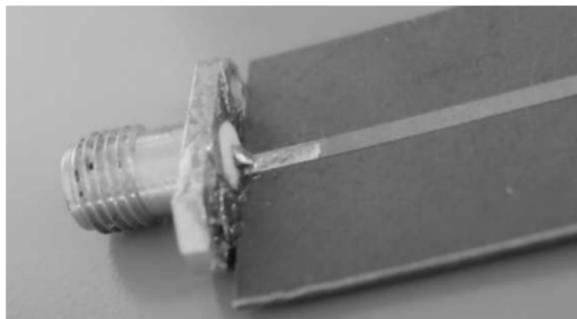


Abbildung: Leitung mit SMA-Verbinder

Übersicht

- 1 Grundlagen
- 2 ADS
- 3 Mischer
- 4 Verstärker
- 5 Literatur**

Literatur

-  Agilent: Accurate Measurement of Packaged RF Devices, www.agilent.de
-  I. Bahl und P. Bhartia: Microwave Solid State Circuit Design, Wiley Publication, 2003
-  E. Camargo: Design of FET Frequency Multipliers and Harmonic Oszillators, Artech House, 1998
-  L. Cupido: 24 GHz Modules, DUBUS, 1998
-  T.C. Edwards and M.B. Steer: Foundations of Interconnect and Microstrip Design, Wiley Publications, 2000
-  F. Giannini and G. Leuzzi: Nonlinear Microwave Circuit Design, Wiley Publication, 2004

Literatur

-  M. Hoffmann: Hochfrequenztechnik, Springer-Verlag, 1997
-  Michael Kuhne: 24GHz Transverter MKII, DUBUS, 1993
-  K. Solbach: Laboratory Microwave Theory and Techniques, Experiment No.4, 2005
-  K. Solbach: Vorlesung über Hochfrequenz-Elektronik, Duisburg, 2007
-  P. Silvester and P. Benedek: Equivalent Capacitances of Microstrip Open Circuits, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, No. 8, 1972
-  P. A. Tipler: Physik, Spektrum-Verlag, 1998

Literatur

-  M.L. Majewski, R.W. Rose and J.R. Scott: Modeling and Characterization of Microstrip to Coaxial Transitions, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-29, No. 8, 1981
-  J.P. Pascual, M.L. de la Fuente, M. Rodríguez-Gironés, E. Artal und H.L. Hartnagel: Optimal Mixer Matching Design Technique Under large Signal Pumping, RF signal processing, 2003
-  E. Voges: Hochfrequenztechnik, Hüthig-Verlag, 2004