

Diss. Nr. 5118

**Computersimulation von linearen rauschenden
Vierpolen mit besonderer Berücksichtigung des
Bipolartransistors bis 12 GHz**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

KARL HARTMANN
dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 12. März 1944
von Altwis (Kt. Luzern)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. J. O. Strutt, Referent
Prof. Dr. M. Mansour, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich
1973

1. Einleitung und Zusammenfassung

Diese Arbeit stellt eine Weiterentwicklung der Promotionsarbeiten von vier wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für Höhere Elektrotechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich dar. E.Suter setzte den Computer noch nicht ein. W.Thommen brauchte den Digitalcomputer für einige Berechnungen. W.Bächtold baute einen Analogcomputer für sein Transistormodell. W.Kotyczka begann, den Digitalcomputer zur Netzwerkoptimierung einzusetzen. Die vorliegende Arbeit stützt sich ganz auf die Simulierung des Kleinsignal- und Rauschverhaltens von Halbleitern mittels Digitalcomputer.

Nach der Diskussion verschiedener Modellarten für Halbleiter werden Transformationsgleichungen der vier Rauschparameter von linearen rauschenden Vierpolen in Funktion der s-Parameter hergeleitet. Anschliessend wird auf die Computersimulation von rauschenden Vierpolen mit Hilfe des Digitalcomputers eingegangen. Dabei wird der Rechenaufwand von verschiedenen Sensitivitätsanalysen verglichen und ein neues Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Rauschparameter angegeben.

Im experimentellen Teil werden nach der Beschreibung der Konstruktion einer Transistormessfassung verschiedene Rauschmessmethoden und Rauschmesseinrichtungen besprochen, wobei auch negative Quellenwiderstände berücksichtigt werden. Die Kleinsignal- und Rauschparameter von verschiedenen Mikrowellenbipolartransistoren werden bis 12 GHz untersucht und im Hinblick auf die Verbesserung dieser Halbleiter-Verstärker und deren Gehäuse diskutiert. Auch die Temperaturabhängigkeit der Rauschzahl

gelangt zur Diskussion.

Die Rauschquellen im Transistor-Ersatzschaltbild sind unter Berücksichtigung der Erzeugung und Rekombination von Ladungsträgern in der Basis-Emitter-Sperrschicht hergeleitet worden. Die aus diesem Modell berechneten Kleinsignal- und Rauschparameter werden mit den gemessenen Größen verglichen. Es stellt sich heraus, dass innerhalb gewisser Grenzen die optimale Quellenadmittanz bezüglich Rauschen mit variablen Werten der Zuleitungsinduktivitäten variiert werden kann, ohne die minimale Rauschzahl praktisch zu beeinflussen. Am Schluss ist ein Transistormodell mit verteilten Kleinsignalelementen und Rauschquellen aufgeführt.

2. Computer Simulation of Linear Noisy
Two-Port Circuits with Special Con-
sideration of the Bipolar Transistor
up to 12 GHz

Summary

This work represents a continuation of the theses by four coworkers of the Department of Advanced Electrical Engineering, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. E. Suter did not use the computer. W. Thommen executed some calculations with the digital computer. W. Bächtold constructed an analog computer for his transistor model. W. Kotyczka began to apply the digital computer for network optimizations. This present work is completely based on the simulation of the small signal and noise behavior of semiconductors using the digital computer.

After the discussion of different kinds of models for semiconductors, transformation formulas for the four noise parameters of linear noisy two-ports are derived. The computer simulation of noisy two-ports using a digital computer is examined. Moreover the computing time of different sensitivity analyses is compared and a new computing procedure for the determination of the noise parameters is given.

In the experimental part different noise measuring methods and equipments are discussed after the description of the construction of a microwave transistor mount. Negative source resistances are also consi-

dered. The small signal and noise parameters of several microwave bipolar transistors are examined up to 12 GHz and they are then discussed in consideration of the improvement of the corresponding semiconductor amplifiers and their packages. The temperature dependence of the noise figure is described.

The given equivalent circuit contains the noise sources. Also the generation and recombination in the base-emitter junction is considered. The small signal and noise parameters calculated by this model are compared with the measured values. Between certain limits the optimal source admittance with respect to the noise can be varied with variable lead inductances without practically influencing the optimal noise figure. At the end a transistor model with distributed small signal elements and noise sources is described.