

Diss. Nr. 5227

**Various Types of Noise in Monolithic Integrated
Operational Amplifiers**

A Dissertation submitted
to the

**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH**

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

Presented by

UDO J. STRASILLA

M.S. E.E. M.I.T.
born 23 July 1937
citizen of Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. M. J. O. Strutt
Prof. Dr. W. Schaufelberger

Juris Druck + Verlag Zürich
1973

VERSCHIEDENE RAUSCHARTEN IN MONOLITHISCHEN INTEGRIERTEN OPERATIONSVERSTÄRKERN

ABSTRAKT

Das Rauschen von monolithischen integrierten Operationsverstärkern, insbesondere vom Typ MC 1525, 741 und TAA 861, wurde im Frequenzbereich von 0.16 Hz bis 160 kHz untersucht. Innerhalb dieses Frequenzbereichs besteht das Rauschen hauptsächlich aus weißem Rauschen, welches von thermischen und Schrot Rauschquellen innerhalb des Schaltkreises herrührt, aus $1/f$ Rauschen, aus Varianz Rauschen und in einem Teil der getesteten Schaltungen aus Burst Rauschen (Popcorn Rauschen). Zur Messung und zur Trennung der Rauscharten wurden verschiedene experimentelle Methoden benützt. Diese beruhen auf der Analogmessmethode mit Bandpassfiltern, und auf einer Digitalmethode mit einem Fourier Analysator.

Um die wichtigsten weissen sowie $1/f$ Rauschquellen innerhalb eines linearen integrierten Schaltkreises zu bestimmen, wurde das Gesamtrauschersatzschaltbild durch die Zusammensetzung der Rauschersatzschaltbilder der einzelnen Komponente generiert. Das Rauschmodell wurde für einen einfachen Differentialverstärker analytisch, für komplexe Schaltkreise mit einem Rauschanalyse Programm berechnet. Die äquivalenten Schaltkreisparameter für die Rauschmodelle wurden experimentell bestimmt durch Messung der einzelnen I. C. Komponente auf dem Chip mit Hilfe eines Mikromanipulators. Eine andere Methode zur Charakterisierung des Operationsverstärkers und zur Lokalisierung von Burst Rauschquellen wurde untersucht. Mittels eines fokussierten Laserstrahls wurde die Chipoberfläche abgetastet und die Wirkung desselben auf das Schaltkreisverhalten geprüft. Die Computer Rauschanalyse zeigt, dass je nach der Anwendung verschiedene Rauschquellen für das Gesamtrauschverhalten verantwortlich sind. Diese Analyse liefert dem Benützer wichtige Informationen zur Voraussage des Rauschverhaltens des Verstärkers in besonderen Anwendungen, und sie gibt dem I. C. Hersteller Hinweise zur Verbesserung der Schaltung um rauscharme Schaltkreise zu erzielen.

Durch Schmalbandmessungen im Bereich von 0.31 bis 10 Hz wurde nachgewiesen, dass auch Operationsverstärker Varianzrauschen aufzeigen. Varianzrauschen ist das in einigen Mustern beobachtete Phänomen, dass die Varianz der Rauschspannung in einem Zeitintervall verschieden sein kann von der Varianz in einem anderen Zeitintervall von gleicher Dauer. Eine auf Statistik beruhende Theorie wurde aufgestellt welche den Zusammenhang des Varianzrauschens mit dem $1/f$ Rauschen erklärt. Die mit einer Computer Simulation getestete Theorie scheint allgemein für Komponente mit $1/f$ Rauschen gültig zu sein.

Mit einem Speicheroszilloskop wurden die verschiedenen Formen des Burst Rauschsignals qualitativ untersucht. Ein Fourier Analysator und ein Echtzeit Computer ermöglichten es, das weisse und $1/f$ Rauschen, welches dem Burst Rauschen überlagert ist, von den verschiedenen Niveaus zu trennen und separat zu analysieren. Die Messungen zeigen eine hohe Korrelation zwischen Burst Rauschen und $1/f$ Rauschen.

VARIOUS TYPES OF NOISE IN MONOLITHIC INTEGRATED OPERATIONAL AMPLIFIERS

by

UDO J. STRASILLA

Submitted to the Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, (ETH-Z), in December 1973, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Science

ABSTRACT

The noise in monolithic integrated operational amplifiers, in particular the MC 1525, the 741 and the TAA 861, was investigated in the frequency range from 0.16 to 160 kHz. Within this frequency range the noise was found to consist of white noise stemming from thermal and shot noise within the device, $1/f$ noise, variance noise and, in a portion of the devices tested, of burst noise. Different experimental techniques were used for measuring and separating the various types of noise. An analog measurement method was applied involving band pass filters, and a digital method using a Fourier analyzer.

For pinpointing major white and $1/f$ noise sources in a linear integrated circuit, its noise model was generated based on the noise models of its components. The analysis of the I. C. noise model was carried out analytically in a simple differential amplifier circuit and with a computer noise analysis program in more complicated circuits. Equivalent circuit parameters for the noise models were found experimentally by measuring the individual I. C. components on the chip with the aid of a microscope and a micro-manipulator. Another method for characterizing the operational amplifier circuitry and for pinpointing burst noise sources was investigated. This involved scanning a focussed laser beam across the chip surface and studying its effect at the various circuit terminals. The computer noise analysis shows that, depending on the operating conditions, different noise sources are responsible for the overall noise behavior. Such analysis provides valuable information to the user, enabling him to predict the noise behavior of the amplifier in particular applications, and to the I. C. manufacturer it suggests ways for improving the design to achieve lower noise circuits.

The existence of variance noise, the phenomenon that in some devices the variance of one time sample may be different from the variance of another time sample of equal duration, was verified by narrow band measurements in the range from .31 Hz to 10 Hz. A theory was developed based on statistics which relates the variance noise to the $1/f$ noise characteristic. The theory, tested with a computer simulation, appears to apply to any device with $1/f$ noise.

Using a storage oscilloscope the various forms of burst noise of different operational amplifiers were qualitatively studied. With a Fourier analyzer in combination with a real time computer it was possible to separate the 'normal' noise superimposed on the burst noise levels. A high correlation is found to exist between burst noise and $1/f$ noise.

THESIS SUPERVISOR: Prof. Dr. M. J. O. Strutt, Head of the Department of Advanced Electrical Engineering

CO-READER: Prof. Dr. W. Schaufelberger, Institute of Automatic Control and Industrial Electronics