



Doctoral Thesis

## **Verzerrungseffekte, Mischvorgänge und Rauschen in Transistor-Verstärker- und -Mischstufen**

**Author(s):**

Vogel, Jakob

**Publication Date:**

1962

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000091732> →

**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](#).

Prom. Nr. 3237

**Verzerrungseffekte,  
Mischvorgänge und Rauschen  
in Transistor-Verstärker- und -Mischstufen**

Von der  
Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

zur Erlangung  
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften  
genehmigte

**PROMOTIONSARBEIT**

vorgelegt von  
**JAKOB VOGEL**  
Dipl. El.-Ing. E.T.H.  
von Zürich

Referent: Herr Prof. Dr. M. J. O. STRUTT  
Korreferent: Herr Prof. Dr. F. BORGNIS

# Verzerrungseffekte, Mischvorgänge und Rauschen in Transistor-Verstärker- und -Mischstufen

VON

JAKOB VOGEL

## Einleitung

Verschiedentlich sind in den letzten Jahren Arbeiten erschienen, die gewisse nichtlineare Verzerrungen in Transistorschaltungen behandeln. So befaßten sich an diesem Institut bereits G. SPESCHA [1] mit den Verzerrungen in Niederfrequenzstufen und M. ARGÜN [2] mit dem Problem der Kreuzmodulation. In verschiedenen Veröffentlichungen von N. MEYER und H. LOTSCH [3], [4] werden die nichtlinearen Verzerrungen bei tiefen und mittleren Frequenzen für kleine Signale berechnet.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, alle praktisch wichtigen Verzerrungseffekte, die in Transistorstufen auftreten können, zu erfassen. Dabei wurde die Theorie so ausgebaut, daß sie für beliebig hohe Frequenzen, beliebig zulässige Aussteuerungen bei variablen Arbeitspunkten, Generator- und Lastwiderständen gültig ist, und daß die Auswertung für praktisch vorliegende Schaltungen ohne großen Aufwand erfolgen kann. Da die Mischung in Transistorstufen ebenfalls ein nichtlinearer Verzerrungseffekt ist, muß eine allgemeine Verzerrungstheorie den Mischvorgang unter Einschluß aller auftretenden Mischverzerrungen in sich schließen.

Es existieren bis heute verschiedene Methoden, die es gestatten, nichtlineare Verzerrungen aus der Arbeitskennlinie zu bestimmen [5], [6]. Die Berechnungen beruhen dabei oft auf einer Annäherung der Kennlinie im Arbeitspunkt mittels einer Taylorreihe und erfordern die formale Kenntnis der Strom-Spannungscharakteristik und ihrer mathematischen Ableitungen. Diese Methode ist nur auf rein ohmsche, nichtlineare Schaltungen anwendbar.

Es besteht weiter eine Rechenart, bei der die Verzerrungen aus einer kleinen Anzahl von Funktionswerten der Kennlinie  $i=f(u)$  ermittelt werden. Schließlich existiert noch die Möglichkeit, die nichtlinearen Ele-

mente durch lineare zu ersetzen und die Erzeugung von Harmonischen durch die zusätzliche Einführung von Strom- oder Spannungsquellen zu erfassen.

In den Abschnitten I, II und III der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wie man, ausgehend vom Transistor-Ersatzschaltbild nach GIACOLETTO, die Übertragungscharakteristik  $i_c=f(u_{eb})$  bei tiefen Frequenzen finden kann. Hieraus erfolgt nach der ersten, jedoch etwas modifizierten Methode die Berechnung der bei der Geradeausverstärkung und der Mischung auftretenden Verzerrungsvorgänge, wie harmonische Verzerrung, Modulationsverzerrung, Kreuzmodulation usw.

Die Erweiterung auf hohe Frequenzen erfolgt im Abschnitt IV. Die Berücksichtigung der im Transistor-Ersatzschaltbild auftretenden Diffusions- und Sperrschichtkapazitäten führt bei der Bestimmung der Kennlinie  $i_c=f(u_{eb})$  auf eine nichtlineare Differentialgleichung, aus der sich die harmonischen Verzerrungen und die Mischung durch Näherungsmethoden ziemlich gut berechnen lassen.

Im Abschnitt V wird eine Rauschformel für Transistor-Mischstufen hergeleitet. Die Rauschzahl  $F$  wird dabei als Funktion von Generatorwiderstand, Frequenz, Collectorstrom und Oszillator-Signalamplitude berechnet.

## Schrifttum

- [1] SPESCHA, G. A. und STRUTT, M. J. O., Theoretische und experimentelle Untersuchungen der Verzerrungen in NF-Flächentransistor-Vierpolen. A.E.U. 11 [1957], 307-320.
- [2] ARGÜN, M. und STRUTT, M. J. O., Nichtlineare Verzerrungen einschließlich Kreuzmodulation in HF-Transistorstufen. A.E.U. 13 [1959], 227-242.
- [3] MEYER, N. I., Non-linear distortion and small signal parameter of alloyed junction transistors. Danish Science Press Ltd., Copenhagen 1969.
- [4] LOTSCH, H., Übersicht über die nichtlinearen Verzerrungen einschließlich der Kreuzmodulation in Transistor-Verstärkerstufen. A.E.U. 14 [1969], 204-216.
- [5] BALLANTINE, S. und SNOW, H. A., Reduction of distortion and crosstalk in radio receivers by means of variable  $\mu$ -tetrodes. Proc. Inst. Radio Engrs. 18 [1930], 2102-2127.
- [6] BULL, C. S., Non linear valve characteristics, a brief discussion on their use. Wirel. Engr. 10 [1933], 83-88.