



Ein Aufsatz zum Thema Gegenkopplung in Audio-Verstärkern

Gegenkopplung in Audio-Verstärkern (khs)

Einige Gerüchte sind sehr robust. Eines davon lautet, eine Gegenkopplung in Audioverstärkern sei schlecht. Das ist einerseits richtig, andererseits aber umso mehr falsch... Die folgende Abhandlung wird darlegen, dass Gegenkopplung in Verstärkerschaltungen generell unverzichtbar, aber nur in Verbindung mit der Emitterfolgerschaltung mit klanglichen Nachteilen verbunden ist.

Der Generalverdacht: Gegenkopplung ist schlecht

Immer wieder heißt es, ein Verstärker sei nur darum besser, weil er keine, oder nur eine sehr geringe Gegenkopplung aufweise. Andererseits ist ein Operationsverstärker ohne Gegenkopplung geradezu unvorstellbar, außer wenn er als Komparator verwendet wird. Hier soll erklärt werden, warum in der einen Verstärkerschaltung die Gegenkopplung gut und unverzichtbar ist, in der anderen aber schlecht. Vorweg schon mal die Ursache:

Es liegt daran, dass der Audioverstärker im Allgemeinen als Emitterfolger konstruiert ist und dieser komplexe Lasten wie die Induktivität von Lautsprechern prinzipiell nur bedingt antreiben kann.

Der besondere Vorteil von Operationsverstärkern besteht darin, dass keine Induktivitäten eingebaut werden; die werden mit Kapazitäten simuliert (vergl. Gyrotorschaltung). Auch Operationsverstärker funktionieren allgemein mit Transistoren in Emitterfolgerschaltung im Ausgang. Eine Operationsverstärkerschaltung mit realen Induktivitäten ist nicht bekannt. Diese würde sich unter induktiver Last ebenso verhalten wie ein Leistungsverstärker in Emitterfolgerschaltung.

Der ABACUS-Verstärker ist ein „Leistungstranskonduktanzverstärker“

Es sind aber auch Operationsverstärker bekannt, deren Ausgang nicht als Emitterfolger arbeitet, sondern wie der ABACUS-Verstärker den Strom an den Kollektoren der Endtransistoren liefert. Solche Operationsverstärker können auch induktive Lasten treiben. Es handelt sich hier um „Transkonduktanzverstärker“. Ein ABACUS-Verstärker ist also ein Leistungs-Transkonduktanzverstärker.

Der Kollektorausgang liefert naturgemäß keine bestimmte Ausgangsspannung, sondern ist vielmehr vom jeweiligen Ausgangsstrom abhängig. Er wäre darum zum Antrieb eines Lautsprechers ungeeignet. Darum muss eine starke Gegenkopplung eingebaut werden, damit die Ausgangsspannung in einem festen Verhältnis zur Eingangsspannung steht. Dadurch ist die Ausgangsspannung auch vom jeweiligen Kollektorstrom unabhängig. Das geht so weit, dass der Kollektorstrom sogar der Ausgangsspannung entgegen gerichtet sein kann, ohne dass es diese Spannung beeinflussen könnte.

Dieses Verhalten kann nicht auf die Emitterfolgerschaltung übertragen werden. Beim Emitterfolger ist eine starke Gegenkopplung in der Regel schlecht – je nachdem, mehr oder weniger. Diese Erkenntnis auf den Transkonduktanzverstärker anzuwenden ist aber unzulässig; denn schädlich wird die Gegenkopplung nur bei der Emitterfolgerschaltung.

Verstärker mit Röhren sind auch Transkonduktanzverstärker

Handelsübliche Röhrenverstärker funktionieren auch als Transkonduktanzverstärker, weil sie ebenfalls eine Spannung am Eingang in einen Strom am Ausgang wandeln. Mit der Spannung am Steuergitter ändert sich der Anodenstrom. Im Ausgangsübertrager wird dieser

Strom wieder in eine Spannung umgewandelt. Röhren sind also Stromquellen; und nur darum können sie an der Anode mit einem Transformator belastet werden.

In der Starkstromtechnik bezeichnet man dieses Transformatorprinzip als Stromwandler (vergl. Zangenamperemeter und Wechselstrommessung). Ein Stromwandler wandelt einen Strom in eine proportionale Spannung um.

Transistor ist eine stromgesteuerte Stromquelle

Prinzipiell machen Transistoren das genauso, nur wird hier nicht die Basisspannung, sondern der Basisstrom verändert. Eine Veränderung dieses Stroms hat unmittelbar eine Veränderung des Kollektorstroms zur Folge und demzufolge auch des Emitterstroms. Ein Transistor ist eine stromgesteuerte Stromquelle. Und genauso wie eine Röhre an der Anode durch eine Induktivität belastet werden kann, kann ein Transistor am Kollektor mit einer Induktivität belastet werden.

Einen Transistor am Emitter mit einer Induktivität zu belasten, ist falsch! Dies hat unweigerlich die bereits an anderen Stellen beschriebenen [Emitterfolgerverzerrungen](#) zur Folge.

Die Phasenverschiebung betrifft nicht nur den Kollektorstrom, der auch durch den Emitter fließt, sondern auch den Basisstrom, der ebenfalls durch den Emitter fließen muss. Wenn bereits der Basis-Steuerstrom am Transistor phasenverschoben ist, weicht auch der Kollektorstrom vom Ideal ab. Aber nur die am Emitter durch den phasenverschobenen Strom anfallende Spannung des Emitterfolgers steht diesem für die Gegenkopplung zur Verfügung.

Bei diesbezüglichen Betrachtungen steht die Problematik Verstärker-Lautsprecher stets im Focus. Aber eine vergleichbare Problematik besteht ebenso bei der Verbindung zweier Audiokomponenten auf Line-Niveau. Hier beeinflussen die elektrischen Eigenschaften von Verbindungskabeln und die Eingangseigenschaften der Folgekomponenten das Ausgangssignal.

Transkonduktanzverstärker auch für Linesignale?

Wie bei Endverstärkern sind auch die Line-Ausgänge der ABACUS-Vorverstärker ausschließlich als 100% gegengekoppelte Transkonduktanzverstärker geschaltet. Zur Nachrüstung am Ausgang von Line-Komponenten anderer Hersteller bietet ABACUS einen „Linetreiber“ an. Am Ausgang eines ABACUS-Verstärkers und damit auch am ABACUS Linetreiber verliert Kabel und Folgegeräteeingang jeglichen Einfluss auf den Klang; dann

„klingt“ eine Superstrippe für 1.000 Euro pro Meter genauso wie 1000 Meter Stacheldraht.

Vorverstärker mit Röhren sind auch Transkonduktanzverstärker

Wenn Audiokomponenten mit Röhren im Ausgang arbeiten und damit womöglich sogar besser tönen, liegt das nicht an der Röhre selbst, sondern daran, dass diese das Signal an der Anode liefert. Damit ist auch die Röhren-Lineausgangsschaltung ein Transkonduktanzverstärker.

August 2009 - khs