Woher kommt die k_2-Nullstelle?

Manfred Zollner

Nichtlineare Röhrenverzerrungen können sehr unterschiedliche Aussteuerungsabhängigkeiten aufweisen: einen fast monotonen Anstieg, aber auch eine oder sogar zwei Verzerrungsnullstellen. Genaue Analysen zeigen, dass schon sehr geringe Unterschiede in den Übertragungskennlinien reichen, um erhebliche Verzerrungsunterschiede zu produzieren. Im Folgenden wird der Mechanismus erläutert, der zur Ausbildung einer k_2-Nullstelle führt.

Die Signalübertragung vom Gitter zur Anode einer Verstärkerröhre (z.B. 7025) ist nichtlinear; es entstehen Verzerrungen, die üblicherweise durch den **Klirrfaktor** beschrieben werden. Er kann als Funktion der Frequenz dargestellt werden, oder – und darum geht es hier – als Funktion der Aussteuerung. Bei sehr kleiner Aussteuerung (d.h. sehr kleiner Eingangsspannung) ist die Übertragung nahezu verzerrungsfrei, mit zunehmender Aussteuerung nehmen aber die Verzerrungen zu. In **Abb. 1** ist über dem Eingangspegel die Klirrdämpfung dargestellt, ein logarithmisches Maß des Klirrfaktors (1% ≙ 40 dB). Im linken Bild nehmen die quadratischen Verzerrungen (blaue Kurve) über der Aussteuerung in einem weiten Bereich monoton zu, im rechten Bild – das von einer anderen ECC83 stammt – zeigt die quadratische Verzerrung jedoch ein charakteristisches Minimum. Woher kommt dieses Minimum, das bei vielen, aber eben nicht allen Triodenverstärkern zu beobachten ist?

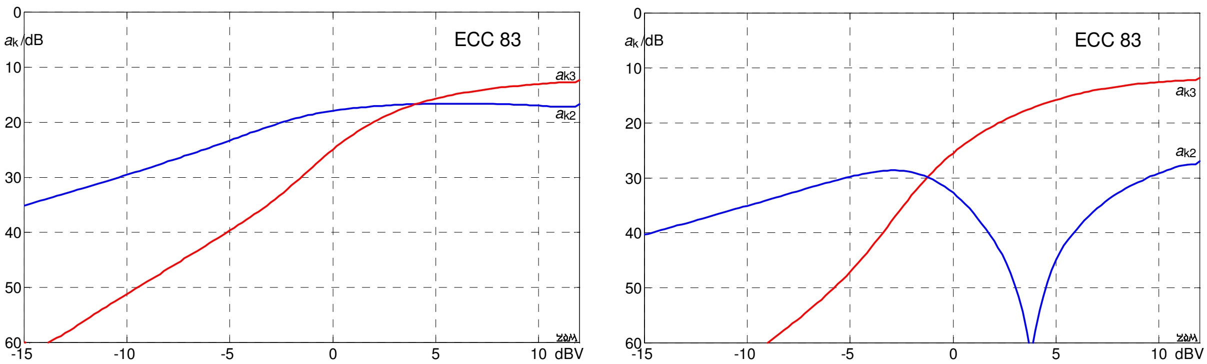

Abb. 1: Quadratische (blau) und kubische Klirrdämpfung (rot) als Funktion des Eingangspegels [1].

Zur analytischen Beschreibung von Röhrenverzerrungen ist es hilfreich, ihre Übertragungskennlinie zunächst rigoros zu vereinfachen. Auch wenn die idealisierte Triodentheorie eine Potenzfunktion mit 1.5 als Exponent fordert – es ist einfacher, mit einer quadratischen Kennlinie zu beginnen, und sich der Realität Schritt für Schritt zu nähern. Mit einer rein quadratischen Übertragungskennlinie erhält man natürlich auch nur quadratische Verzerrungen, doch genau um die geht es. Die quadratische Parabel $y = x^2$ ist gut geeignet, das Übertragungsverhalten bei kleinen Aussteuerungen zu studieren. Da sie aber keine beidseitige Signalbegrenzung (Clipping) ermöglicht, muss ihre Form für große Aussteuerung durch zusätzliche Terme modifiziert werden.