

Optimierung des FM Zwischenfrequenzverstärkers:

# Verstimmungsfreie Begrenzung durch Kompensation der dynamischen Eingangskapazität mittels unüberbrücktem Kathodenwiderstand

Thomas Moppert und Ernst Schlemm. Januar 2008

## Kein Problem ohne Problembewusstsein:

Bei Einsetzen der Begrenzung ändert sich die Gittergleichspannung der ZF-Verstärkerstufen und damit auch die Eingangskapazität der Röhren. Ohne Kompensationsmechanismen würde sich eine Verstimmung der Bandfilter-Sekundärkreise ergeben, was eine Asymmetrie der ZF-Kurve und damit Modulationsverzerrungen zur Folge hätte.

**Ein optimal bemessener, unüberbrückter Kathodenwiderstand sorgt dafür, dass sich die dynamische Eingangskapazität der betreffenden ZF-Röhre bei unterschiedlichen Pegeln nur wenig ändert und damit die Kreisverstimmung gering bleibt.** Siehe Bild 1 und 2.

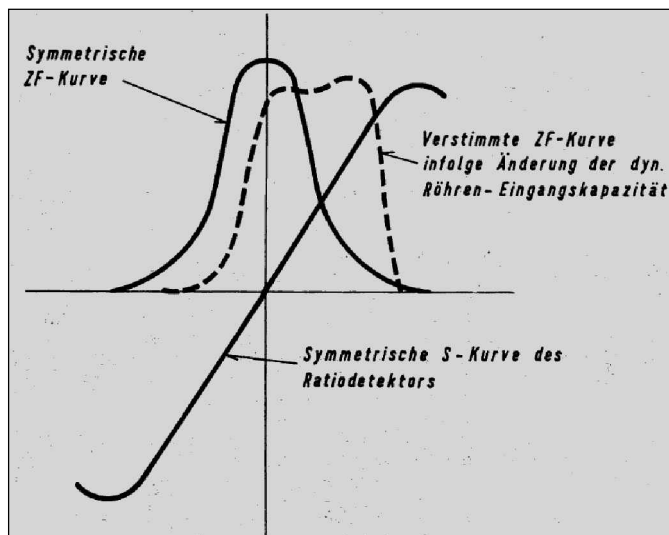


Bild 1

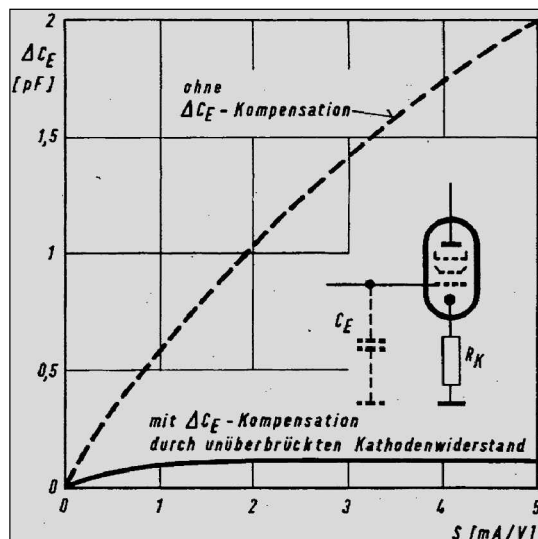


Bild 2

Aktuell wurde diese Optimierung erst mit der Einführung des Stereo-Rundfunks, weil die Anforderungen an die Stabilität der Durchlasskurve der ZF-Verstärker anstiegen. Das erklärt auch, weshalb diese Schaltungsvariante in den älteren Mono-Geräten noch nicht anzutreffen war.

In diesem Zusammenhang steht auch die korrekte Schirmgitterneutralisation, denn:

Die Kompensation der dynamischen Eingangskapazität funktioniert nur dann zufriedenstellend, wenn zuvor richtig neutralisiert wurde und wenn der interne Schirm der Röhre auf Masse liegt.

**Zitate (sinngemäß) aus den Technischen Informationen von Grundig zum Einsatz unüberbrückter Kathodenwiderstände:**

„Auf Anregung der Firma Grundig wurde von den Röhrenherstellern die Röhre EAF801 entwickelt. Gegenüber der Vorläufertypen EBF89 weist sie einige entscheidende Vorzüge auf, die sie für einen Einsatz speziell in hochwertigen FM-ZF-Verstärkern prädestiniert. Sie erlaubt die Anwendung unüberbrückter Kathodenwiderstände und somit eine bedeutende Verminderung des Einflusses der Gittereingangskapazitäts-Änderung. ... Bei der EBF89 war es nicht möglich, mit einem unüberbrückten Kathodenwiderstand zu arbeiten, **da stets eine sehr starke Rückwirkung in der Röhre auftritt, weil der Schirm innerhalb der Röhre mit der Kathode verbunden ist...**

Wendet man keine besonderen Maßnahmen an, so ergibt sich eine starke Verstimmung des gitterseitigen ZF-Kreises (100-200kHz bei den üblichen Schwingkreis Kapazitäten um 25pF!) durch die **Änderung der Eingangskapazität der ZF-Röhre** (mehrere Picofarad) **mit dem Einsetzen und besonders im Anfangsbereich der Begrenzung**. Die ZF-Kurve wird frequenzverschoben und asymmetrisch und es entstehen Modulationsverzerrungen. Mit der Röhre EAF801 **(und allen ZF-Röhren mit separat herausgeführtem Schirm)** lässt sich dieser Effekt fast völlig beseitigen, da hier der Schirm nicht mehr mit der Kathode verbunden ist, sondern auf einen gesonderten Anschluss geführt worden ist. Betreibt man die EAF801 mit einem unüberbrückten Kathodenwiderstand definierter Größe, so ergibt sich nur noch eine vernachlässigbare Änderung der Eingangskapazität einer solchen Stufe... Steigt die am Gitter liegende Spannung, dann soll die an der Kathode liegende Spannung eine solche Größe annehmen, dass der Strom durch die veränderte Eingangskapazität wieder den gleichen Wert annimmt. Damit hat sich die dynamische Eingangskapazität scheinbar nicht geändert. **Diese Schaltung setzt allerdings die Erdung des internen Schirms und eine einwandfreie Neutralisation voraus.**

Der optimale Wert für den unüberbrückten Kathodenwiderstand ist für die EBF89 und EAF801 120 Ohm.

Die Kompensierung der Eingangskapazität mittels unüberbrücktem Kathodenwiderstand bringt durch die damit verbundene **Stromgegenkopplung** zugleich eine wesentlich verbesserte Stabilität der übrigen Röhreneigenschaften und eine Erhöhung des dynamischen Eingangswiderstandes. Man kann ohne Gefahr kleinere Schwingkreis Kapazitäten verwenden und den durch die Gegenkopplung bedingten Verstärkungsverlust so wieder ausgleichen.“

## Wie finde ich den optimalen Wert des unüberbrückten Kathodenwiderstandes?

Falls in den Röhren-Datenblättern keine diesbezügliche Angabe zu finden ist, kann der Wert des unüberbrückten Kathodenwiderstandes empirisch ermittelt werden. Dazu muss die Schirmgitterneutralisation bereits optimiert worden sein.

Man benötigt einen Wobbelmesssender mit Markengeber, idealerweise mit zwei Marken.

Der Kathodenwiderstand  $R_k$  setzt sich entsprechend Bild 3 aus einem unüberbrückten Teilwiderstand ( $R_{k1}$ ) und einem mit einem Kondensator  $C$  HF-mäßig überbrückten Teilwiderstand ( $R_{k2}$ ) zusammen. Sein Gesamtwert  $R_k$  bemisst sich an der zur Einstellung des Arbeitspunktes erforderlichen Gitter-Vorspannung:

$$-U_{g1} = U_k = R_k \cdot I_k = (R_{k1} + R_{k2}) \cdot I_k$$

Zweckmässiger Weise ersetzt man beim Abgleich die beiden Teilwiderstände durch Potis von z.B. jeweils 220 Ohm Endwiderstand. Mit einem unüberbrückten Teilwiderstand  $R_{k1}$  von z.B. 100 Ohm optimiert man zunächst

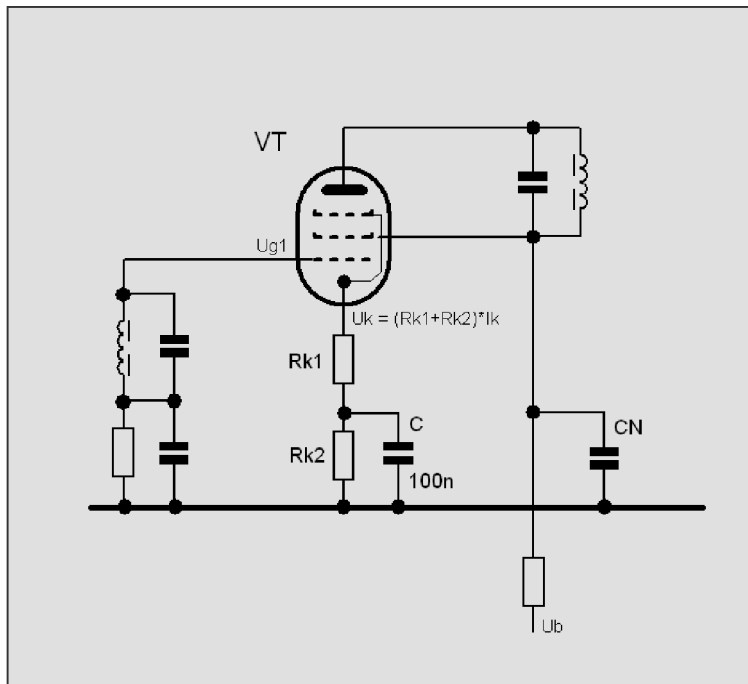


Bild 3

die Durchlasskurve des Verstärkers bei einem Pegel, bei dem die Begrenzung noch nicht einsetzt. Beide Potis müssen zusammen natürlich weiterhin den gewünschten Gesamtwiderstand  $R_k$  ergeben. Wird nun der HF-Eingangspegel bei optimalem Wert des unüberbrückten Teilwiderstandes  $R_{k1}$  erhöht, so wird mit Einsatz der Begrenzung die Durchlasskurve des Eingangskreises und damit auch der Verstärkerstufe insgesamt breiter, bleibt aber **weitgehend symmetrisch**. Diesen Wert gilt es, empirisch zu ermitteln.

Bei einem ungünstigen Wert von  $R_{k1}$  ist die Durchlasskurve vor Einsetzen der Begrenzung noch symme-

trisch, z.B.  $\pm 100$  kHz (man hat ja die Kurve zuvor so optimiert!). Sobald der Verstärker aber in die Begrenzung kommt, wird sich die Kurve infolge des einsetzenden Gitterstromes und der damit verbundenen Änderung der Eingangskapazität und Bedämpfung unsymmetrisch verbreitern, vielleicht auf  $+120 / -150$  kHz.

## Dank

Für seine Hilfsbereitschaft, seine vielen wertvollen Tipps und das Korrekturlesen des Textes danken wir **Peter Treytl** ganz herzlich!

## Literatur

- [1]Grundig Technische Informationen, Aug. 1963, S. 578ff
- [2]Grundig Technische Informationen, Okt. 1963, S. 618ff