

# Ergänzung zum Beitrag in FA 07/24, S. 550 f. „Experimenteller AM-Minisender für alte Mittelwellenradios“

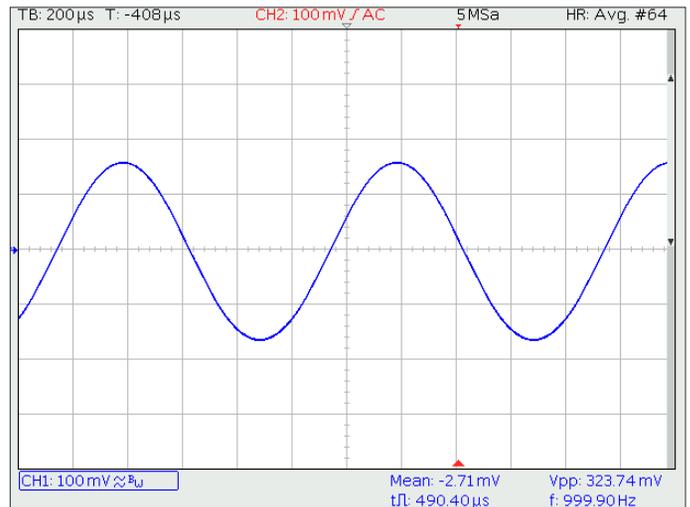
Da einige interessante technische Aspekte der AM-Modulation in der gedruckten Ausgabe keinen Platz mehr fanden, wird deren Beschreibung hier nachgereicht.

## ■ NF-Verzerrungen und ihr HF-Spektrum bei DSB-FC

Die durch den additiven Mischer erzeugten Spektren zeigen die Grenzen seines dynamischen Aussteuerbereichs von immerhin noch etwa 50 dB. Bei Modulation eines unverzerrten Sinus (Bild E1) entstehen zusätzliche Linien bei  $3f_0$  und  $4f_0$  (Marke 3 und 4 in Bild E2), die auf die Kennlinie des Modulators zurückzuführen sind. Vermindert man den Modulationsgrad und steuert sie weniger aus, so verschwinden sie im Rauschen. Dieser Restfehler ist allen weiteren Spektren überlagert.

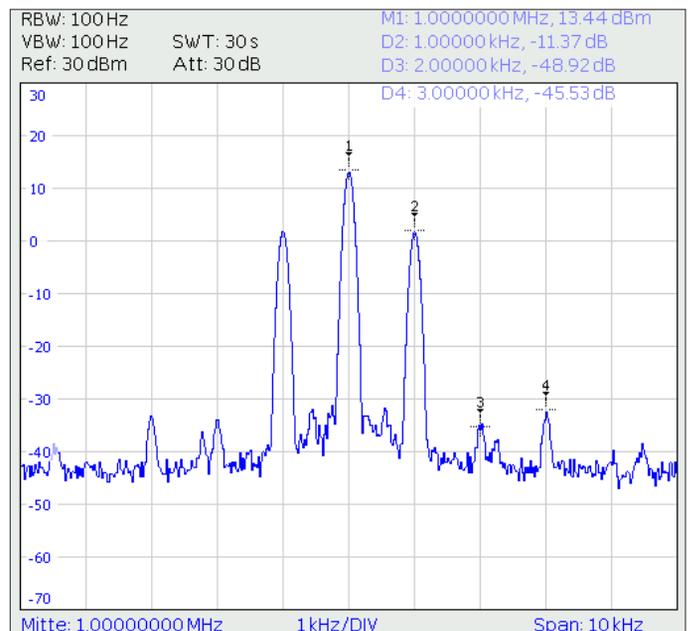
Die symmetrische Stauchung (Stauchung in Bild E3) erzeugt nur ungeradzahlige Harmonische mit schneller Amplitudenabnahme höherer Ordnungen. Deshalb kann man hier nur den Peak bei  $3f_0$  (Marke 4 in Bild E4) sehen. Die nächste Harmonische bei  $5f_0$  wird bereits durch das Modulationstiefpassfilter leicht gedämpft und liegt mehr als 55 dB unter der Trägeramplitude im Rauschen. AM-Rundfunkempfänger, insbesondere alte Modelle mit Röhren, haben meist einen geringeren Dynamikumfang, sodass derart kleine NF-Pegel von den Grundstörungen (Rauschen, Restbrumm, QRN) überdeckt werden.

**Bild E1:**  
1-kHz-Sinussignal mit  $k_{ges} \approx 0,5\%$ ; erwartet wird ein spektraler Abstand der Harmonischen von mehr als 45 dB zur Grundschwingung.

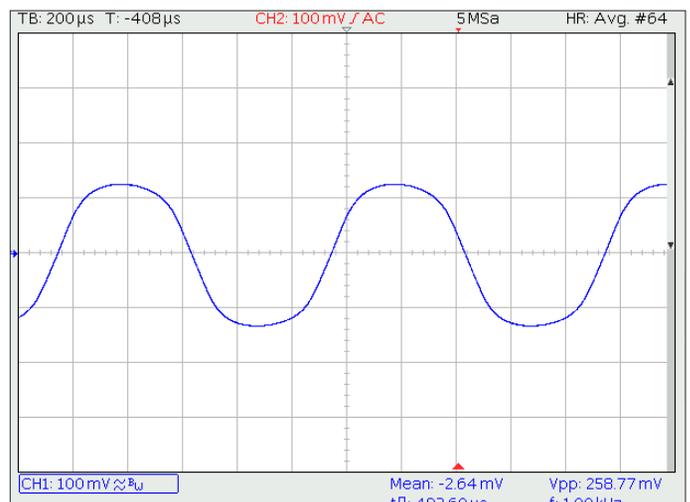


Screenshots:  
DC7GB:

**Bild E2:**  
Spektrum bei AM mit  $m \approx 0,5$ ; die Peaks bei Marke 3 und 4 werden durch die Kennlinie des Modulators (additiver Mischer) erzeugt.



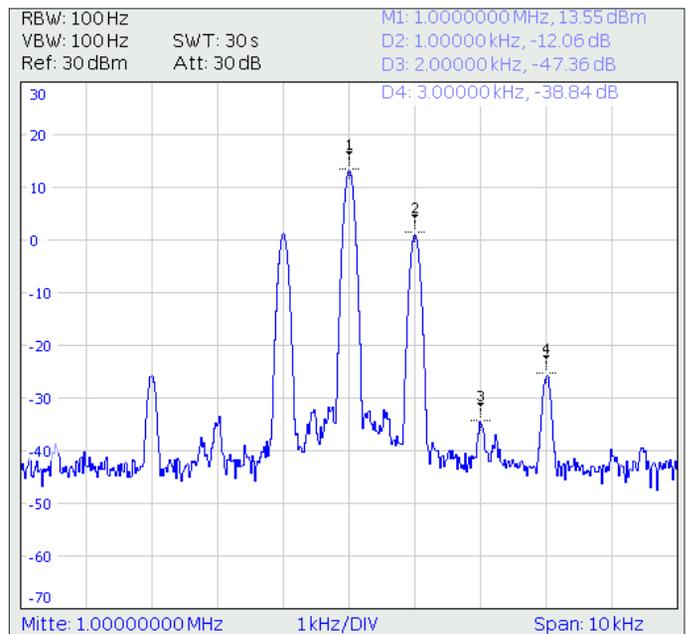
**Bild E3:**  
Symmetrische Stauchung des Sinussignals bei etwa 40% Übersteuerung an einer antiparallelen Silizium-Doppeldiode; die höheren ungeradzahligen Harmonischen müssen wegen des runden Verlaufs schnell abnehmen.



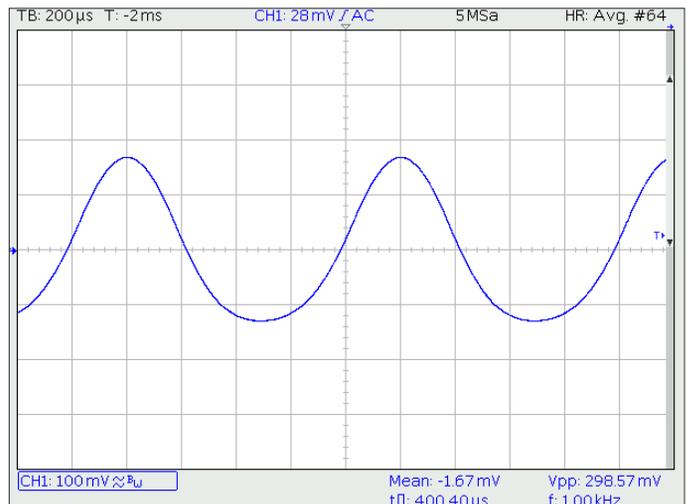
Interessant ist der Vergleich der unsymmetrischen Verzerrungen. Der harmonische FET-Verzerrer (Bild E5) erzeugt in der Praxis nur einen Peak bei  $2f_0$ . An seiner realen Kennlinie entstehen auch noch höhere Harmonische, die hier aber nicht mehr nachgewiesen werden können. Beim unsymmetrischen Diodenverzerrer (Bild E7) entstehen gerade und ungerade Harmonische, die man im Zeitsignal allein kaum erahnen kann. Im AM-Spektrum ist der Unterschied sehr deutlich zu erkennen (vergl. Marke 4 in den Bildern E6 und E8).

Alle Oberschwingungen haben ihr Maximum bei der ersten Harmonischen ( $2f_0$  oder  $3f_0$ ). Bei Vollaussteuerung hat der harmonische Verzerrer ein  $k_2 \approx 11\%$ . Die unsymmetrische Verzerrung (Stauchung) mit einer Diode liegt bei  $k_{2,3} \approx 7\%$ . Am besten schneidet die symmetrische Verzerrung mit  $k_3 \approx 5\%$  ab. Musik ist selten zu 100% ausgesteuert, sodass die tatsächlich auftretenden Verzerrungen noch unter den Messwerten liegen.

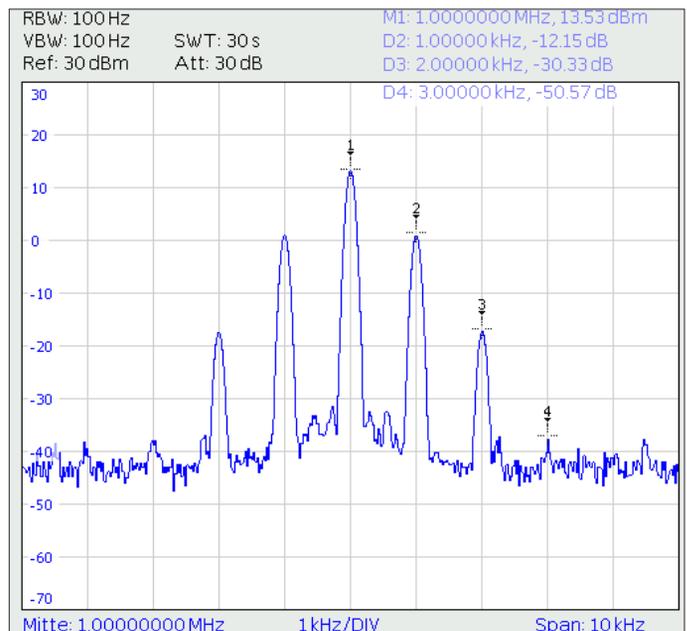
**Bild E4:**  
Spektrum bei AM von Bild E3; sichtbar ist bei Marke 4 nur die ungeradzahlige Harmonische bei  $3f_0$  (Marke 3: wie Bild E2).



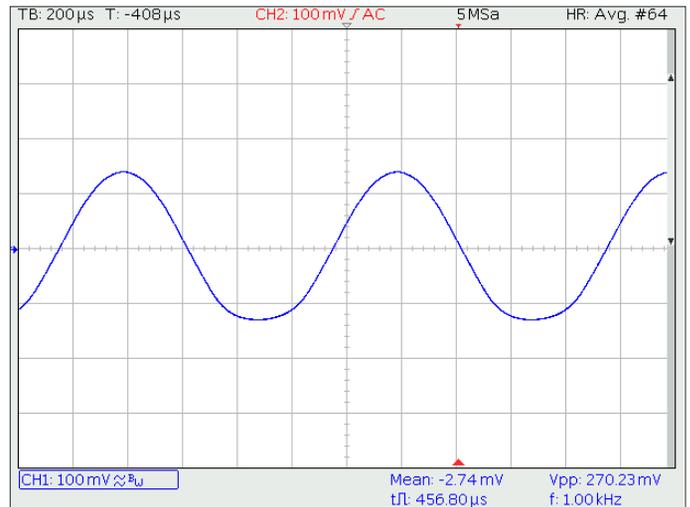
**Bild E5:**  
Signal am Ausgang des harmonischen Verzerrers mit FET-Sourcefolger am Rand zwischen dem ohmschen und dem Sättigungsbereich der quadratischen Übertragungskennlinie (Sinussignal-Ansteuerung ohne Diodenbegrenzer)



**Bild E6:**  
Spektrum bei AM von Bild E5; Marke 3 zeigt eine ganzzahlige Harmonische bei  $2f_0$ . Anteile ab  $4f_0$  liegen unterhalb von -40 dBm.



**Bild E7:**  
Signal eines unsymmetrischen Begrenzers mit nur einer Diode; die positiven Halbwellen sind etwas breiter als in Bild E5, was auf einen Anteil an ungeradzahigen Harmonischen schließen lässt.



**Bild E8:**  
Der unsymmetrische Diodenbegrenzer erzeugt alle Harmonischen. Ab  $4f_0$  liegen sie im Rauschen und sind hier nicht mehr erkennbar.

