

1-W-Linearverstärker

DL2EWN hatte für den FA-SDR-Transceiver (1) auch einen 1-W-Linearverstärker (2) entwickelt, der gute HF-Eigenschaften besitzt. Die Einsatzmöglichkeiten sehr sind vielfältig, als Treiber für eine Endstufe, als Vorverstärker für KW-Empfänger oder allgemein als 20dB-HF-Leistungsverstärker in Messanordnungen. Nachfolgend werden die Spezifikationen des HF-Verstärkers untersucht.

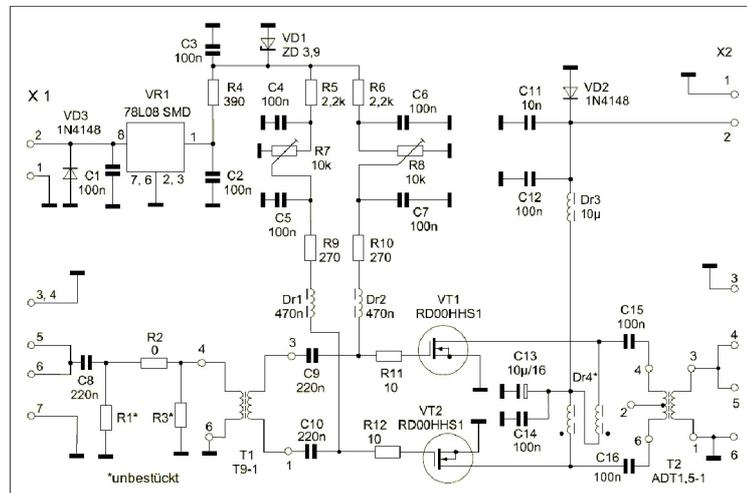
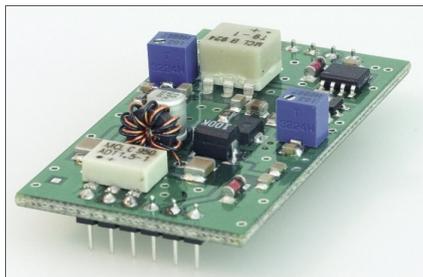


Bild 1: Bestückte Platine des 1-W-Linearverstärkers und das Schaltbild (FA)

Verstärkung, Frequenzgang und Bandbreite

Die gewobbelte Übertragungskurve des Verstärkers von 0-200 MHz zeigt Bild 2. Bis 120 MHz beträgt die Verstärkung exakt 20dB (+/- 0,15dB), erst bei 200 MHz geht sie auf ca. 18dB zurück. Aufgrund des flachen Frequenzgangs, lässt er sich der Verstärker sehr gut auch als Messverstärker verwenden.

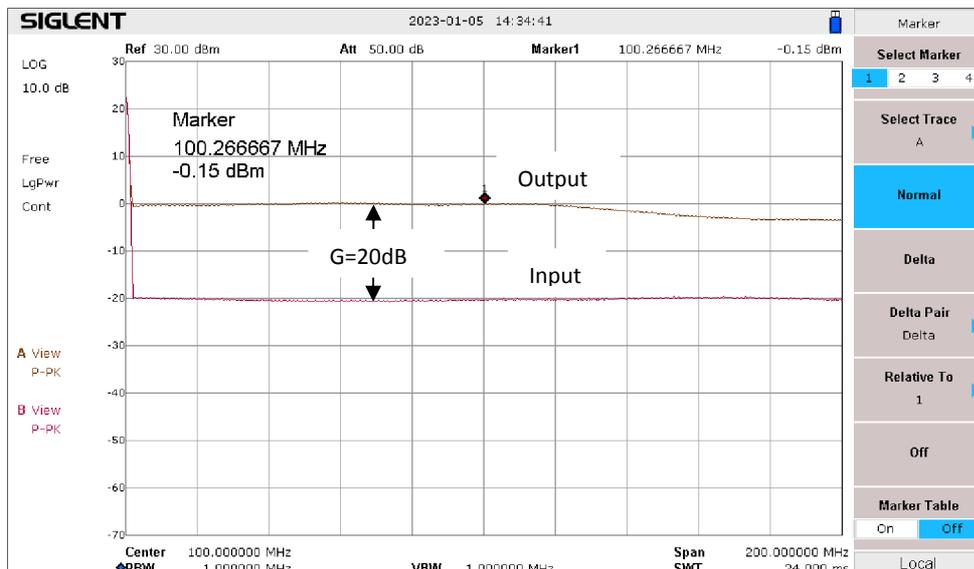


Bild 2: Verstärkung und Frequenzgang, Span 0-200 MHz

Rauschzahl (NF)

Zur Ermittlung der Rauschzahl, lässt sich ein Spektrum-Analysator verwenden. Zunächst misst man das Grundrauschen des Analysators, bezogen auf eine theoretische Auflösungsbandbreite (RBW) von 1 Hz. Hierzu am Analysator die "Noise-Marker" Funktion aktivieren, wodurch das Grundrauschen des

Analysators berechnet in dBm/Hz angezeigt wird. Bei $f_c = 50$ MHz, ergibt sich bei meinem Analysator ein Grundrauschen von -163 dBm/Hz (**Bild 3**). Dieser Rauschpegel ist klein genug, um nachfolgend das additive Rauschen des Linearverstärkers korrekt zu messen.

Settings: Center=50MHz, RBW 100kHz, VBW 10kHz, Average Time 100, Att 0dB, Preamplifier On

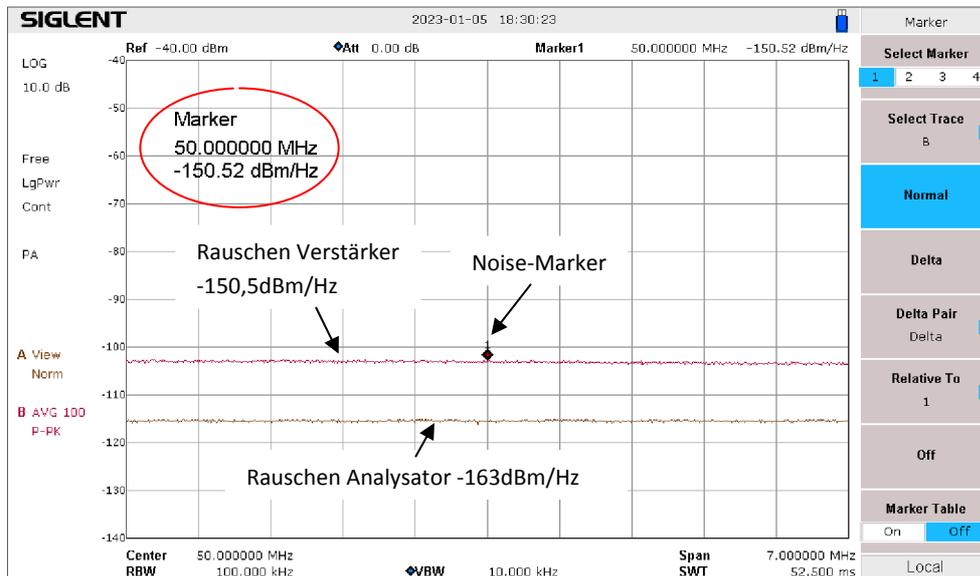


Bild 3: Rauschlinien des Analysators (gelb) und des Verstärkers (violett)

Anschließend wird der Verstärker mit 50 Ohm am Eingang abgeschlossen und sein Ausgang mit dem Analysator verbunden (**Bild 4**). Der Rauschpegel steigt dann von -163 dBm/Hz auf $-150,5$ dBm/Hz an.

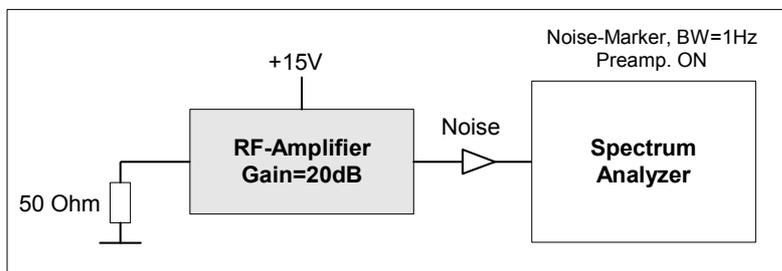


Bild 4: Messung des Verstärker-Rauschen

Aus dem ermittelten Rauschpegel, berechnet sich das Rauschmaß des Linearverstärkers zu

$$\text{Rauschmaß} = -150,5 \text{ dBm/Hz} - 20 \text{ dB (Gain)} = -170,5 \text{ dBm/Hz}$$

Bezogen auf den Rauschgrenzwert von -174 dBm/Hz, ergibt sich eine Rauschzahl (Noise Figure, NF) von

$$\text{NF} = -170,5 \text{ dBm/Hz} - (-174 \text{ dBm/Hz}) = 3,5 \text{ dB}$$

Intermodulation, IM3

Zu Ermittlung der IM-Festigkeit, wird der Verstärker mit zwei gleich großen Signalen bei $50,000$ MHz und $50,001$ MHz ($\Delta f = 1$ kHz) angesteuert (violette Kurve) und beide Signale soweit vergrößert, bis sich eine Ausgangsleistung (gelbe Kurve) von $2 \times 0,25$ W (2×24 dBm) ergibt (**Bild 6**). Zwischen den beiden HF-Signalen kommt es spannungsmäßig zu einer Schwebung, bei der sich die Signale addieren oder auslöschen. Die doppelte Spannung entspricht der vierfachen Leistung, wodurch das 2-Ton-Signal im Schwebungsmaximum eine Spitzenleistung (PEP) von $4 \times 0,25$ W = 1 W = 30 dBm erreicht. Die vom

Verstärker produzierten IM3-Störprodukte haben zu den Nutzsignalen einen IM3-Abstand von 43,62dB, ein guter Wert. Die Pegel der weiteren IM-Produkte fallen relativ schnell ab.

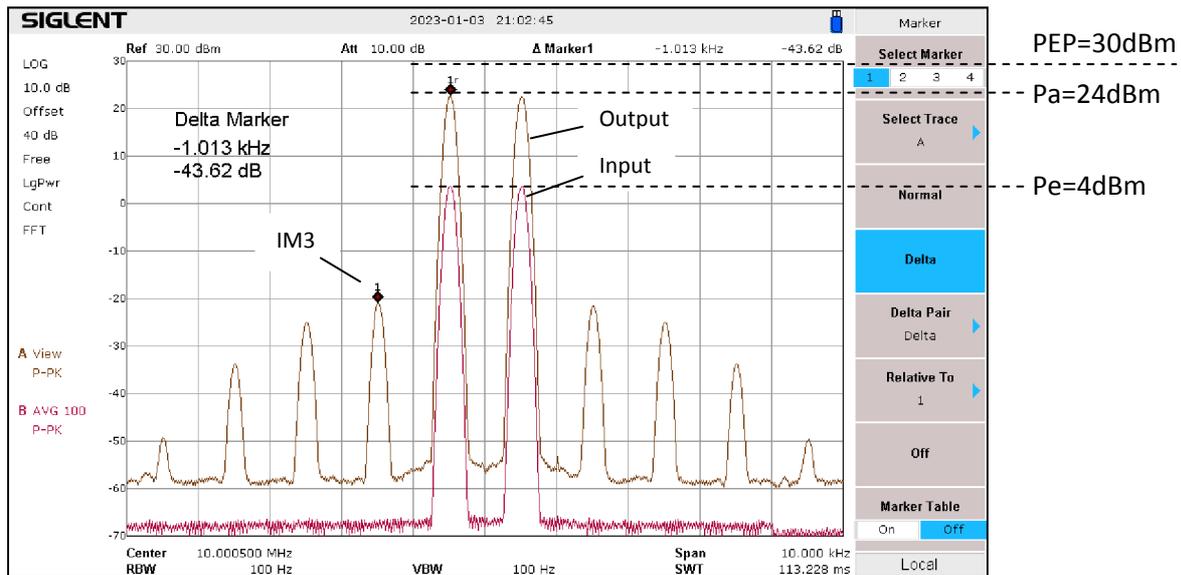


Bild 6: Intermodulationsabstand bei 1 Watt-PEP-Ausgangsleistung, $\Delta IM3 = 43.6\text{dB}$

Intercept Point, IP3

Aus dem ermittelten IM3-Abstand berechnet sich der IP3 des Verstärkers zu

$$IP3_{in} = \Delta IM3/2 + Pe = 43,6\text{dB}/2 + 4\text{dBm} = +25,8\text{dBm} \text{ (bezogen auf den Eingang)}$$

$$IP3_{out} = IP3_{in} + \text{Gain} = +25,8\text{dBm} + 20\text{dB} = +45,8\text{dBm} \text{ (bezogen auf den Ausgang)}$$

Verzerrungsfreier Dynamikbereich, SFDR

Mit Hilfe des IP3 und der Rauschzahl, lässt sich eine Aussage über den nutzbaren Dynamikbereich des HF-Verstärkers machen. Laut Definition ist die obere Grenze der Aussteuerung dann erreicht, wenn die Pegel der IM3-Produkte gleich der Empfindlichkeitsgrenze (Rauschen) des Verstärkers sind. Die Empfindlichkeitsschwelle (S) des Verstärkers, bezogen auf eine SSB-Bandbreite (BW) von 2,4 kHz, beträgt

$$S = -174\text{dBm/Hz} + NF + 10\log BW = 174\text{dBm/Hz} + 3,5\text{dB} + 34\text{dB} = -135,5\text{dBm}$$

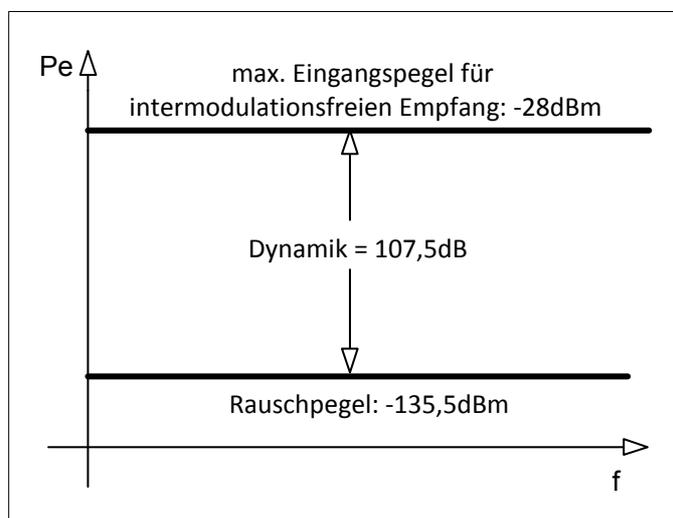


Bild 7: Dynamikbereich des Linearverstärkers

Die Leistung von zwei Eingangssignalen, deren IM3-Produkte gerade die Empfindlichkeitsschwelle des HF-Verstärkers erreichen, berechnet sich daraus zu

$$P_{\text{max}} = 1/3 \times (2 \times IP_3 + S) = 1/3 \times (2 \times 25,8\text{dBm} - 135,5\text{dBm}) = -28\text{dBm}$$

woraus sich ein max. IM-freier Dynamikbereich (Spurious Free Dynamic Range, SFDR) des Verstärkers ergibt von

$$\text{SFDR} = P_{\text{max}} - S = -28 - (-135,5) = 107,5\text{dB}$$

Oberwellen

Der Oberwellenabstand eines 1-Ton-Signals (10 MHz) beträgt bei 1 Watt Ausgangsleistung 42,8 dBc (**Bild 8**). Für einen 1-W-Verstärker ist das ebenfalls ein guter Wert. Bei Nutzung als Endstufe, sollte jedoch ein TP-Filter nachgeschaltet werden.

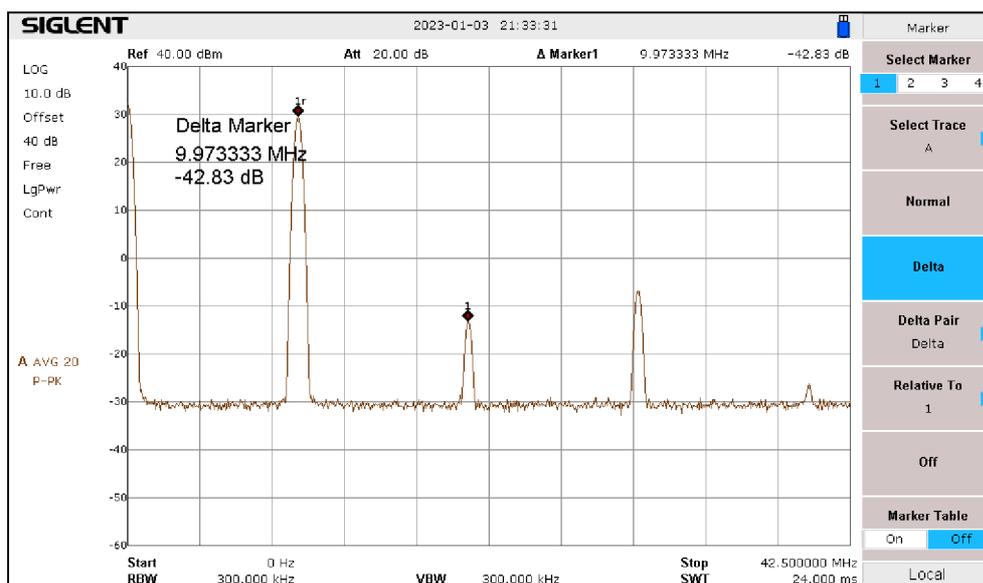


Bild 8: Oberwellenabstand

Verstärker-Modul

Den Aufbau des Verstärkers in ein kleines Weißblechgehäuse, 55x35x30mm, zeigt **Bild 6**. Die Spannungsversorgung beträgt 12...15Volt, bei einem Ruhestrom (Betriebsart A) von ca. 100mA.



Bild 9: 1-W-Linearverstärker als fertiges Modul

Zusammenfassung

Der 1-W-Linearverstärker besitzt in allen Richtungen viel Reserve. Eine Übersteuerung erfolgt erst sehr spät und ein korrekter 50-Ohm Abschluss am Ein- und Ausgang ist nicht erforderlich. Selbst bei völliger Fehlanpassung, entsteht am Verstärker kein Schaden. Schwingneigungen existieren nicht. Kurzum, ein guter HF-Verstärker für viele Anwendungen.

Daten

- Stromversorgung: 12 bis 15VDC, max. 280mA
- Frequenzbereich: 1-100MHz (200MHz: -3dB)
- Verstärkung: 20dB, +/- 0,15dB
- Rauschzahl (NF): 3.5dB
- IM3-Abstand bei 1 Watt Ausgangsleistung: > 40dB
- IP3in: +47,8dBm, IP3out: +27,8dBm
- Oberwellenabstand bei 1 Watt Aussteuerung: > 40dB
- Max. verzerrungsfreier Dynamikbereich: 107,5dB
- Kompression: bei Pa = +36dBm (4 Watt)

Literatur

(1) Arnold Harald, DL2EWN: FA-SDR-TRX für 160m bis 10m
FUNKAMATEUR 58 (2009) H. 12, Seite 1318-1321

(2) Arnold Harald, DL2EWIN, Breitbandige QRP-Linearendstufe
FUNKAMATEUR

Werner Schnorrenberg
DC4KU
dc4ku@darc.de
07.01.2023