



*Franco Rota, I2 FHW*

## Rauschquelle für 10 MHz bis 10 GHz

### 1. Einführung

Die Idee zu diesem Projekt wurde vor einigen Monaten im Vorfeld der 13. E.M.E.-Konferenz in Florenz im August 2008 geboren. Von den Organisatoren wurde ich gebeten, Rauschgeneratoren für diese Konferenz zu bauen. Die erfolgreiche Entwicklung führte zum Bau einer Reihe von Geräten. Die Tests und Messungen wurden an insgesamt 20 Geräten durchgeführt. Somit sollten die Ergebnisse verlässlich und wiederholbar sein.

Nachfolgend wird also ein Rauschgenerator für den Bereich von 10 MHz bis zu 10 GHz beschrieben. Realisiert mit einer Rauschdiode vom Typ NS-303 mit einer verbesserten BIAS-Schaltung.

### 2. Die Schaltung

Das Herzstück dieses Rauschgenerators ist die Diode vom Typ NS-303 (**Bild 1**),

deren Daten bis 8 GHz spezifiziert sind. Folgt man jedoch der nachfolgenden Beschreibung, können mit Leichtigkeit 10,5 GHz erreicht werden, was bedeutet, dass der Generator auch noch im 3-cm-Band eingesetzt werden kann, und das mit einer bezahlbaren Diode.

Ziel dieses Artikels ist es unter anderem einen Weg aufzuzeigen, wie man einen Rauschgenerator mit Standardbautei-

**Cathode**

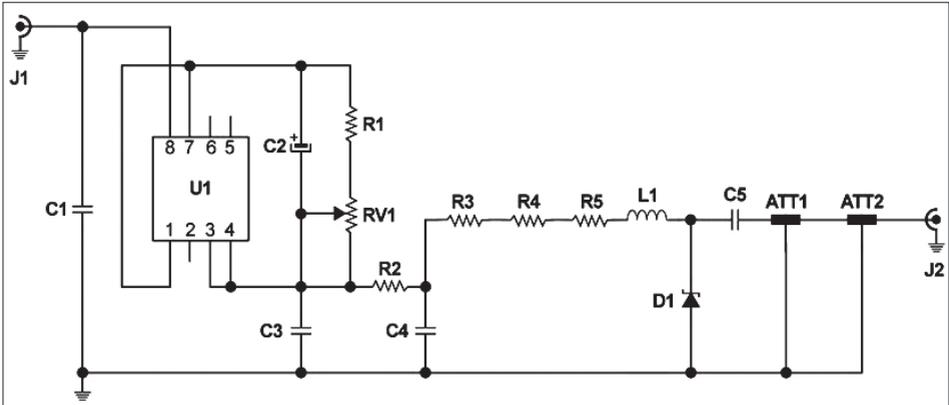


*Bild 1: Rauschdiode Typ NS-303 im vergoldeten Metall-Keramik-Gehäuse;*

*Frequenzbereich: 10 Hz - 8 GHz  
(max. 10 GHz)*

*Ausgangspegel: ca. 30 dBENR,*

*BIAS: 8 - 10 mA (8 - 12 V)*



*Bild 2: Das Schaltbild einer Rauschquelle mit der Rauschdiode NS-303 für den Bereich 10 MHz bis 10 GHz*

len realisieren kann. Das sehr einfache Schaltbild ist in **Bild 2** dargestellt. Die Bauteileliste folgt in Tabelle 1.

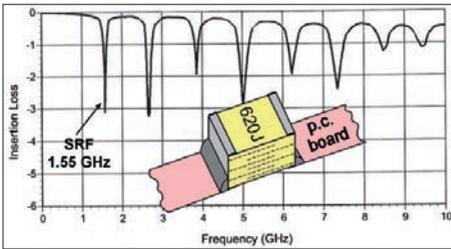
Die Versorgung erfolgt über 28 V gepulste Wechselspannung, die an den Anschluss J1 gelegt wird; das ist ein Standard für alle Rauschzahlmessgeräte. Mit dem Präzisions-Spannungsregler U1 wird die Spannung für die Rauschdiode auf 8 bis 12 V stabilisiert. Der Strom durch die Diode kann zwischen 8 und 10 mA betragen und wird mit dem Trimmer RV1 eingestellt.

## 2.1. Die Widerstände R3 - R5

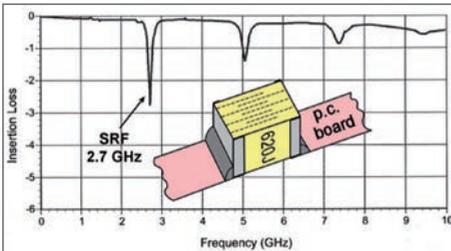
Diese Widerstände haben einen Gesamtwert von 100 bis 220  $\Omega$ , wobei der Absolutwert nicht kritisch ist. Sehr wichtig dagegen ist die Gehäusegröße 0603, damit die Streukapazität so gering

### Tabelle 1: Bauteilliste:

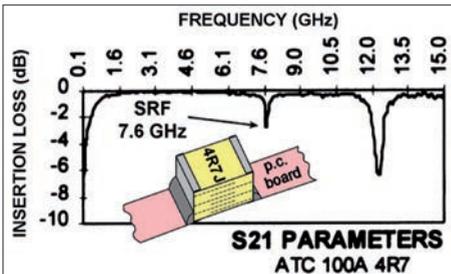
D1	NS-303, Rauschdiode
U1	LP2951CMX, SMD, SO8-Gehäuse
C1	10 nF, 0805
C2	1 $\mu$ F, 25 V, Tantal
C3	100 nF, 0805
C4	1 nF, 0805, COG
C5	2 x 1 nF, 0805, COG parallel
ATT1	6 dB Chip-Dämpf. bis 12 GHz
ATT2	7 / 8 dB ext. Dämpfungsglied, DC-12 GHz oder DC-18 GHz!
J1	BNC-Buchse
J2	SMA-Flansch-Stecker
R1	100 $\Omega$ , 1206
R2	18 $\Omega$ , 0805
R3-5	33 $\Omega$ bis 68 $\Omega$ , 0603
L1	6,8 nH oder 8,2 nH, 0603
RV1	100 $\Omega$ SMD-Trimmer, Mehrgang, (POT-SM-101-M)
PCB	25N oder RO4003 oder RO4350; 30 mils; $\epsilon_r$ 3,40; 11 x 51 mm



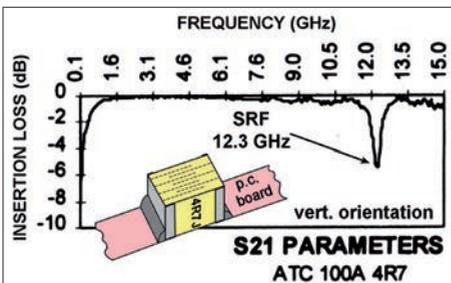
**Bild 3a.)**  
 ATC100B mit 62 pF 100 mils = 3 mm  
 Der Hersteller garantiert Eigenresonanzen erst oberhalb 900 MHz; tatsächlich findet man die erste bei 1,55 GHz bei „liegender“ Montage



**Bild 3b.)**  
 ATC100B mit 62 pF 100 mils = 3 mm  
 Der selbe Kondensator hat bei „gekippeter“ Montage seine 1. Eigenresonanz bei 2,7 GHz



**Bild 3c.)**  
 ATC100A mit 4,7 pF 55 mils = 1,5 mm  
 Der Hersteller garantiert Eigenresonanzen erst oberhalb von 4 GHz; tatsächlich findet man die erste bei 7,6 GHz bei „liegender“ Montage

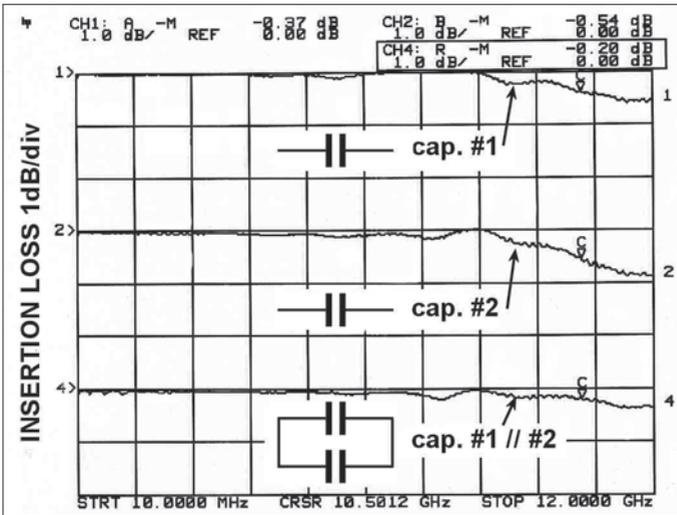


**Bild 3d.)**  
 ATC100A mit 4,7 pF 55 mils = 1,5 mm  
 Der selbe Kondensator hat bei „gekippeter“ Montage seine 1. Eigenresonanz erst ein 12,3 GHz

**Bilder 3a-d: Eigenresonanzen von Kondensatoren in Abhängigkeit ihrer Einbaulage**

wie möglich gehalten wird. Ebenso ist es sinnvoll die Widerstände auf der Leiter-

platte ohne Kupferbahn direkt aneinander zu löten (**Bild 5**).



**Bild 4:**  
 Der Kondensator C5 als 1 nF-Version. Zu sehen ist die Einfügedämpfung des 1 nF, NPO, Klasse 1-Kondensators, dargestellt im Bereich 10 MHz bis 12 GHz bei 1 dB/Div. Man sieht, dass über den gesamten Bereich keine Eigenresonanzen zu finden sind; der Marker C = 10,5 GHz

## 2. 2. Die Abschwächer

Diese Dämpfungsglieder sind hier sehr wichtig um einen Ausgangspegel von etwa 15 dB<sub>ENR</sub> zu erhalten. Viel wichtiger ist noch eine Rückflussdämpfung am Ausgang, die so niedrig wie möglich ist. In [1] wurde bereits beschrieben, dass der Hauptgrund für Fehler bei Rauschzahlmessungen die Unsicherheit der Fehlanpassung ist. Der Gesamtwert der beiden Abschwächer ATT1 + ATT2 kann bei etwa 14 dB liegen.

Die **Bilder 5** und **6** zeigen ein 6 dB-Chip-Dämpfungsglied, das auf eine Leiterplatte montiert wurde und ein externes 7 - 8 dB Dämpfungsglied von guter Qualität.

Es zeigt sich, dass die Ausgangs-Rückflussdämpfung hauptsächlich vom letzten Abschwächer (ATT2) bestimmt wird. Der erste Abschwächer (ATT1) kann

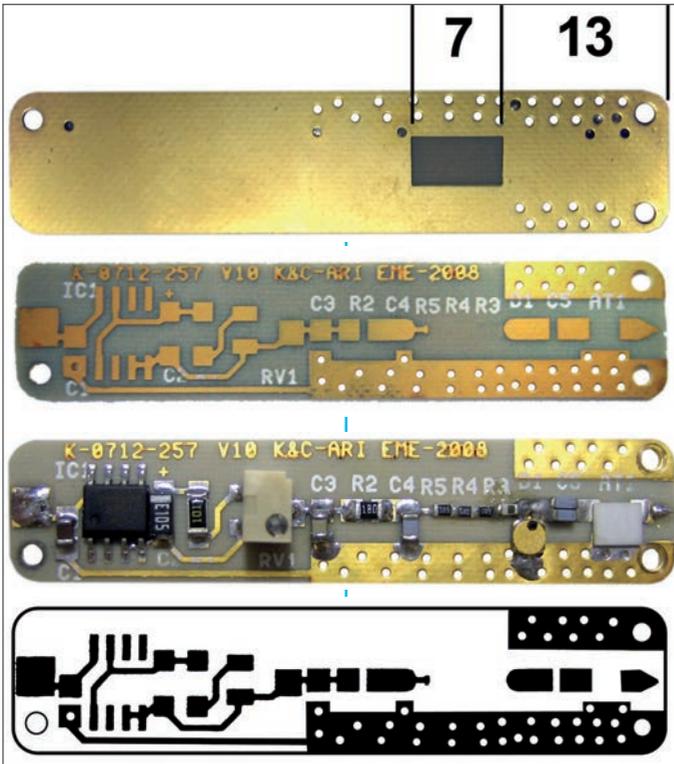
durchaus preiswerter sein und direkt auf die Leiterplatte gelötet werden, da er für eine gute Ausgangsanpassung weniger entscheidend ist.

Hier wurde ein externes Dämpfungsglied mit 7 bzw. 8 dB eingesetzt um den besten Ausgangs-ENR-Wert zu erhalten, da jede Diode ihr eigenes Ausgangsrauschen hat.

Natürlich kann jeder individuell den Wert des Ausgangsdämpfungsglieds wählen, je nach benötigtem ENR. Hier wurde ein Ausgangspegel von 15 dB<sub>ENR</sub> gewählt, was auf Abschwächerwerte von 14 dB herausläuft.

## 2.3. Der Ausgangskondensator

Der Wahl des Ausgangskondensators C5 ist hier sehr viel Aufmerksamkeit



*Bilder 5:  
Massefläche  
mit Aussparung;  
Layout der SMD-  
Bestückungsseite;  
bestückte Leiterplatte  
und Layout der  
kleinen Leiterplatte  
für die Rauschquelle*

zu schenken! Hat er doch gewaltigen Einfluss auf die Ebenheit des Ausgangspegels, zumal das Ausgangssignal ja hinauf bis 10,5 GHz reichen soll.

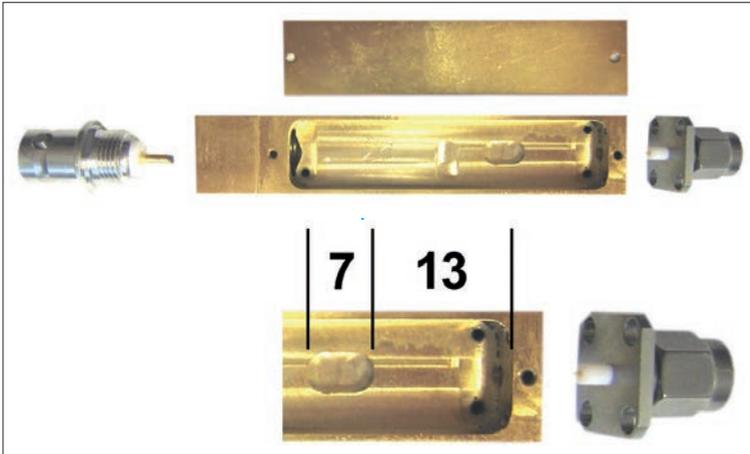
Der Ausgangskondensator soll die Gleichspannung auf dem Ausgangssignal abblocken und lediglich das HF-Signal mit geringstmöglichen Verlusten durchlassen.

Verwendet man beispielsweise SMD-Kondensatoren vom Typ ATC100A oder 100B, so haben diese eine sehr geringe Einfügedämpfung. Jedoch haben diese

in Breitbandanwendungen das Problem von Eigenresonanzen. Dies kann man etwas verbessern, indem man die Chip-Kondensatoren nicht liegend, sondern seitlich gekippt einbaut (**Bild 3**).

In den einzelnen Teilbildern von Bild 3 sind jeweils die Orientierung (Montagerichtung) der ATC-Kondensatoren ATC100B und darunter ATC100A gezeigt. Jeweils im Hintergrund sind die Eigenresonanzkurven über der Frequenzachse dargestellt.

Um die Eigenresonanzen der ATC-Kon-



**Bild6:**  
Das schmale  
Alu-Fräsgewehäuse mit BNC- und  
SMA-Anschlüssen; darunter  
im Detail die  
Bemaßung der  
Vertiefung im  
Gehäuse  
(siehe Text)

densatoren zu vermeiden, wurde nach Alternativen Ausschau gehalten, die möglichst keine Resonanzstellen und ein niedrigeres Q haben. Viele Bauteile wurden überprüft und gemessen, bis sich folgendes Ergebnis zeigte: Multilayer-Kondensatoren (Klasse 1) in der Größe 0805 mit Material NPO zeigen hier, also für Kleinleistungsanwendung, das beste Verhalten, (sie sind jedoch für HF-Leistungsanwendungen oder für rauscharme Verstärker ungeeignet!).

Gewählt wurde hier die Parallelschaltung von zwei 1000 pF-Kondensatoren um auch nach unten minimal bis 10 MHz zu kommen.

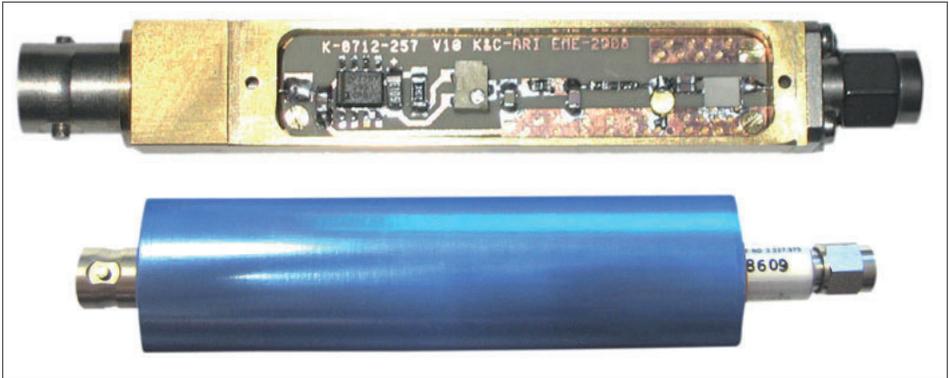
Speziell für Breitband-Anwendungen wird von ATC ein 100 nF-Kondensator in der Bauform 0402 [3] angeboten; nachdem dies jedoch ein Spezialbauteil ist, wurden die oben beschriebenen leichter verfügbaren Bauteile bevorzugt.

Die geringe Einfügedämpfung der 1 nF-Kondensatoren ist in **Bild 4** dargestellt. Die Parallelschaltung der beiden Kondensatoren bringt auf 10,5 GHz (Marker C) eine Einfügedämpfung von lediglich 0,2 dB; das ist für dieses Projekt in Ordnung - und das zu einem günstigen Preis.

## 2.4. Die Leiterplatte

Der Rauschgenerator sollte eigentlich eine passive Schaltung sein, weshalb keine teure Teflon-Leiterplatte erforderlich ist. Außerdem sind die Leitungslängen sehr kurz und die verursachten Verluste noch akzeptabel - also kein Teflon.

Gewählt wurde hier ein Keramik-Laminat, was für HF-Anwendungen durchaus üblich ist, mit einem  $\epsilon_r$  von 3,40. Dieses gibt es von verschiedenen Herstellern mit vergleichbaren Eigenschaften: ROGERS RO4003 oder RO4350, Arlon 25N



*Bild 6b: Die bestückte Leiterplatte fertig eingebaut in das Fräsgehäuse; darunter das „Endprodukt“ mit externem Dämpfungsglied (rechts)*

u.s.w. jeweils mit einer Stärke von 30 mils (0,75 mm).

Um auch wirklich noch das 10 GHz-Band abdecken zu können, ist es erforderlich die Massefläche um R3, R4, R5 und L1 zu entfernen; die Maße sind 7 mm x 4 mm (**Bild 5**).

## 2.5. Das Metallgehäuse

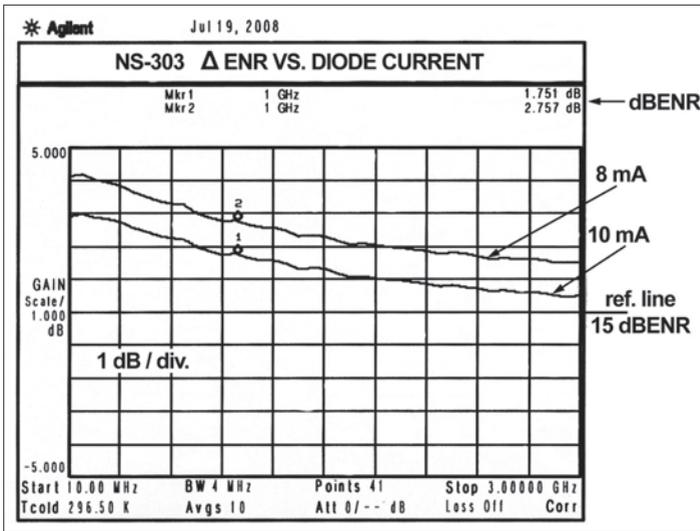
Die Bauteile des Rauschgenerators werden in ein sehr kleines gefrästes Aluminiumgehäuse eingebaut. Leider verhält sich jedes Gehäuse wie ein Hohlleiter mit etlichen Ausbreitungsmoden. Für höhere Frequenzen oder für mittelgroße Gehäuse wird die HF-Schaltung ebenfalls etliche sekundäre Ausbreitungsmoden auf verschiedensten Frequenzen haben.

Da jedes Gehäuse eine unterschiedliche Größe und Form hat und die Arbeitsfre-

quenzen der eingebauten Schaltungen unterschiedlich sind, ist die Berechnung der sekundären Ausbreitungsmoden sehr schwierig.

Um dieses Problem zu umgehen, werden häufig Mikrowellenabsorbermaterialien (z.B. leitfähiger Schaumstoff) eingesetzt, die z.B. in den Gehäusedeckel geklebt werden. Damit versucht man mögliche Resonanzen zu bedämpfen oder zu verhindern.

Der Versuch, all diesen Problemen aus dem Weg zu gehen, führte zu einem sehr kleinen Gehäuse, das problemlos bis 10 GHz einsetzbar ist. Möchte jemand die Innenmaße größer gestalten, wird wieder Absorbermaterial notwendig werden. Weiterhin ist es notwendig, einen 3 mm tiefen Spalt (7 mm x 4 mm) unter den Widerständen R3, R4, R5 und L1 aus dem Gehäuseboden zu fräsen, damit der Abstand zur Massefläche größer wird.



*Bild 7:  
Hier sieht man die Rauschpegel bei 8 mA bzw. 10 mA Diodenstrom; Bereich: 10 MHz bis 3 GHz bei 1 dB/Div.*

### 3. Der Bias-Strom

Der Nominalwert sollte bei etwa 8 mA liegen. Bei den Tests stellte sich etwas sehr eigenartiges bezüglich des Ausgangsrauschpegels heraus: erhöht man den Diodenstrom, so nimmt der Pegel mit etwa 0,5 dB/mA ab bis zu etwa 9 GHz, darüber zeigt sich jedoch der entgegengesetzte Effekt - der Pegel steigt!

Den Unterschied des Ausgangs-ENR von etwa 1 dB bei einem BIAS-Strom von 8 bzw. 10 mA zeigt **Bild 7**. Eine Erweiterung des Frequenzbereichs um etwa 500 MHz bei einem BIAS-Strom von 8 bzw. 10 mA zeigt **Bild 8**. Weiterhin sieht man den Rückgang des Pegels um etwa 1 dB bei 10 mA anstelle von 8 mA bei etwa gleichbleibender Kurvenform.

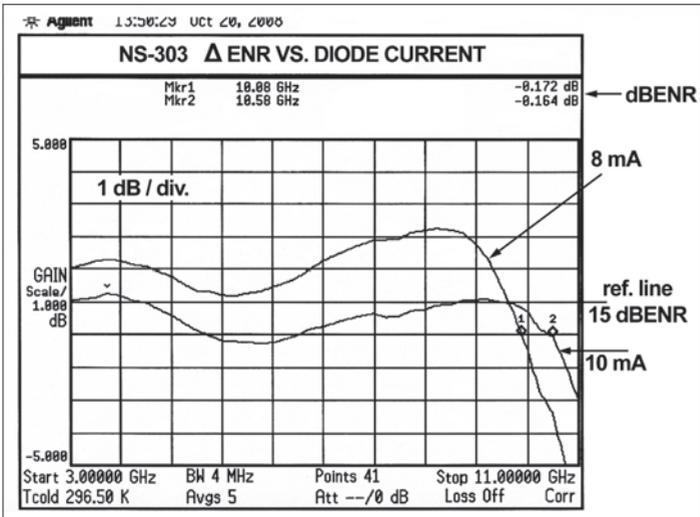
Natürlich kann man beim Abgleich etwas

mit dem Strom „spielen“ um so den ENR-Pegel zu optimieren. Man muss sich also beim Abgleich entscheiden, ob man eher auf 1 dB-Ausgangspegel verzichten kann zugunsten eines erweiterten Frequenzbereiches bis einschließlich 3-cm-Band, oder ob man mehr Pegel haben möchte und dann eben nicht bis 10 GHz kommt.

Den BIAS-Strom kann man einfach direkt an der BNC-Eingangsbuchse messen, wenn man 28 V-DC von einem normalen Netzteil anlegt; der gemessene Strom ist mehr oder weniger genau der Strom, der durch die Diode fließt.

### 4. Testergebnisse

Im Rahmen dieses Projekts wurden 20 Rauschgeneratoren aufgebaut und getestet. Die Messergebnisse für



*Bild 8:  
Der Ausgangs-  
Rauschpegel bei  
verschiedenen  
Diodenströmen,  
hier dargestellt  
bis 11 GHz  
bei 1 dB/Div.*

alle Geräte waren nahezu identisch. Die Messkurven in **Bild 9** wurden mit einem internen 6 dB und einem externen 8 dB-Dämpfungsglied (MaCom oder Narda DC-18 GHz) erstellt.

Ein typischer Ausgangs-Rauschpegel kann z.B.  $15 \text{ dB}_{\text{ENR}} \pm 1,5 \text{ dB}$  oder  $15 \text{ dB}_{\text{ENR}} \pm 2 \text{ dB}$  oder  $15 \text{ dB}_{\text{ENR}} + 1/-2 \text{ dB}$  sein, wobei eine Pegelschwankung von  $\pm 1,5$  oder  $\pm 2 \text{ dB}$  ein normaler Wert ist.

Die Rückflussdämpfung am Ausgang hängt hauptsächlich vom externen Dämpfungsglied ab. So konnten Werte von 30 dB bis 5 GHz, 28 dB bis 8 GHz und 25 (-28 dB) bei 10 GHz gemessen werden.

Hierbei gilt ganz einfach, dass jedes dB mehr am externen Dämpfungsglied die Rückflussdämpfung gleich um 2 dB verbessert. Verwendet man beispiels-

weise ein externes Dämpfungsglied von 17 oder 18 dB kann man eine sehr gute Rückflussdämpfung in der Größenordnung  $>30 - 35 \text{ dB}$  erreichen; das Rauschsignal liegt dann bei etwa  $5 \text{ dB}_{\text{ENR}}$ .

## 5. Abgleich

Der Abgleich einer Rauschquelle ist leider etwas aufwendiger.

Wenn man sich die Daten z.B. eines HF-Signalgenerators ansieht, findet man eine Genauigkeit des Ausgangssignals von typ.  $\pm 1 - 1,5 \text{ dB}$ ; das wird auch weithin akzeptiert. Sehr genaue Leistungsmessgeräte erreichen eine Genauigkeit von  $\pm 0,5 \text{ dB}$  oder sogar besser.

Möchte man allerdings die Rauschzahl messen, liegen die Anforderungen noch etwas höher; das bedeutet, dass die

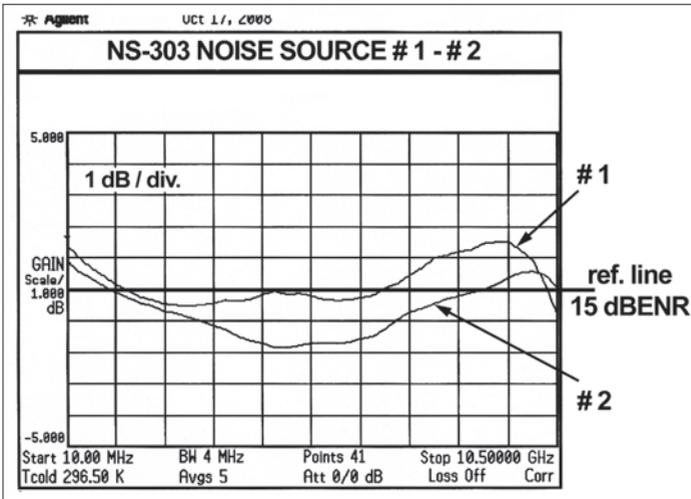


Bild 9:  
Typische Kurven  
zweier verschiedener  
Rauschgeneratoren;  
Bereich 10 MHz bis  
10,5 GHz bei 1 dB/Div.

Rauschquelle einen sehr genau definierten Pegel liefern muss.

Für die klassischen Rauschquellen, wie 346A, B oder C gibt AGILENT eine ENR-Unsicherheit von  $\pm 0,2$  dB (bei  $0,01$  dB/°C) und  $0,15$  dB maximal an. Für den neuen Rauschzahl-Analysator N8975A werden Rauschquellen der neuen N4000er-Serie eingesetzt.

Verwendet man im Labor ein Rauschzahlmessgerät N8975A mit einer Rauschquelle N4001, so kann man beispielsweise typ. Genauigkeiten der Messung von  $\pm 0,1$  dB bis 3 GHz und  $0,15$  dB bis 10 GHz erreichen.

Das bedeutet, dass der Abgleich der hier beschriebenen Rauschquelle idealer Weise mit einer sehr guten Rauschquelle als Vergleich vorgenommen werden sollte. Also wird die Eigenbau-Rauschquelle mit einer kalibrierten Rauschquelle im

Aufbau mit einem rauscharmen Vorverstärker und einem typischen Rauschzahlmessgerät verglichen.

Beispiel:

Man verwendet einen rauscharmen Verstärker mit einer bekannten Rauschzahl von  $0,6$  dB und die kalibrierte Rauschquelle liefert  $15,35$  dB<sub>ENR</sub>. Wechselt man nun die Rauschquellen und schließt die Eigenbauversion an, misst man z.B. eine Rauschzahl von  $0,75$  dB. Das bedeutet, dass die eigene Rauschquelle einen Pegel von:  $15,35$  dB +  $(0,75$  dB -  $0,6$  dB) =  $15,50$  dB<sub>ENR</sub> hat.

## 6. Weitere Anwendungen

Eine Rauschquelle kann auch als Breitband-Rauschgenerator zusammen



mit einem Spektrum-Analysator wie ein „Tracking-Generator“ für skalare Anwendungen eingesetzt werden.

Natürlich ist das kein echter „Tacking-Generator“, weil er ja ganz anders arbeitet. Das Problem liegt einfach darin, dass man einen Frequenzbereich über 3 Dekaden erreichen sollte, also von 10 MHz bis 10 GHz mit einem linearen Verstärker mit mindestens 50 dB Verstärkung!

Es gibt heutzutage entsprechende MMICs, die hierfür geeignet wären, wie die Typen ERA-1, ERA-2, MGA 86576 u.s.w. Problematisch ist jedoch, eine sehr flache Verstärkungskurve über den großen Frequenzbereich zu erhalten und die Schwingneigung bei so hohen Verstärkungen zu verhindern.

So eine Baugruppe kann natürlich ein sehr nützliches Hilfsmittel für die unterschiedlichsten Messaufgaben sein. Es kann beim Filterabgleich mit Spektrumanalysatoren eingesetzt werden oder zur Messung der Rückflussdämpfung - und das bis 10 GHz.

## 7. Literaturhinweise

Nachfolgend noch Links und Literaturhinweise zum Artikel:

[1] VHF-Communications 1/2007 „Noise source diodes“

[2] For those who need more information about the mismatch uncertainty in noise figure measurement I suggest 3 application notes:

- Ham Radio, August 1978,
- Noise figure measurement accuracy AN57-2 Agilent,
- Calculating mismatch uncertainty, Microwave Journal May 2008

[3] R.F. Elettronica web site catalogue [www.rfmicrowave.it](http://www.rfmicrowave.it) (capacitors section)

[4] VHF-Communications 4/2004 „Franco´s finest microwave absorber“

Übersetzung Englisch - Deutsch:  
Eberhard L. Smolka, DB 7 UP

ANZEIGE



... bei uns erhältlich:

## Kurze Antennen

von Gerd Janzen  
408 Seiten, gebunden  
Art.Nr.: 08129

€28,90 inkl. MwSt. zuzügl. Versand



Fachversand für Funkzubehör  
Jahnstr. 7, D-91083 Baiersdorf  
Tel. 09133-77980, Fax 09133-779833  
Email: [info@ukwberichte.com](mailto:info@ukwberichte.com)  
[www.ukw-berichte.de](http://www.ukw-berichte.de)