



Werner Nitsche
DL7MWN



Unterhaching, den 20.02.2008

Rauschen eines Empfängers

1. Einleitung

In den letzten Tagen hatte ich mit Gerrit ein ausführliches Gespräch zum Rauschmaß des HSDR-4512. Wie jeder weiß, ist HF-Technik mein Hobby, aber nicht mein Beruf und so war mir fast alles neu, was ich da erfahren habe. Nun nehme ich an, dass es vielen Lesern unseres Threads ebenfalls so geht. Mein Ziel ist es, möglichst viel Wissen an den Amateurfunk weiterzugeben. Und aus diesem Grund möchte ich die Überlegungen zum Rauschmaß hier schriftlich festhalten.

Gleichzeitig sehe ich es auch als meine Aufgabe an, komplizierte Vorgänge mit möglichst einfachen Worten zu erklären, sodass sie jeder, der sich dafür interessiert, verstehen kann.

Aber zunächst müssen wir nun einen Blick in die Physik werfen.

2. Boltzmann-Konstante

Die Boltzmann-Konstante spielt eine große Rolle in der statistischen Mechanik. Das Rauschen in einem elektrischen Leiter wird durch die "Hin- und Herbewegung" der Elektronen verursacht. Je wärmer der Leiter ist, desto mehr schwingen diese Teilchen, dabei steigt auch das Rauschen an.

$$\text{Boltzmann-Konstante } k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Der absolute Nullpunkt ist bei $0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{ C}$; $0^\circ \text{ C} = +273,15 \text{ K}$.

Als Referenztemperatur für Rauschbetrachtungen hat man die Temperatur $T_0 = 290 \text{ K}$ festgelegt, was demnach $16,85^\circ \text{ C}$ entspricht.

Eine elektrische Rauschleistung wird üblicherweise bezogen auf eine Bandbreite angegeben:

$$P = k \cdot T_0 \cdot B$$

$$\text{in Einheiten [W]} = [\text{J/K}] \cdot [\text{K}] \cdot [\text{Hz}] = [\text{Ws/K}] \cdot [\text{K}] \cdot [1/\text{s}]$$



Werner Nitsche DL7MWN



Weil $1 \text{ Joule} = 1 \text{ W} * 1 \text{ s}$ entspricht, kürzt sich die Sekunde mit dem Hertz (1/s) heraus, genauso wie das Kelvin, sodass erwartungsgemäß nur das Watt übrig bleibt.

Für eine Angabe der Rauschleistung bezogen auf 1mW, müssen wir also den Faktor 1000 berücksichtigen, bzw. nach der Logarithmierung 30dB addieren.

$$P[\text{dBm}] = 10 * \log_{10} (1.38 \dots * 10^{-23} \text{ J/K} * 290\text{K} * 1\text{Hz}) + 30\text{dB} = -173.97 \dots \text{ dBm}$$

3. Rauschgrößen eines Empfängers





Werner Nitsche

DL7MWN



3.1 Thermisches Rauschen

Die Tabelle bezieht sich auf $T_0 = 290\text{K} = 16,85^\circ \text{C}$.

Rauschleistung thermisch	Bandbreite	Betriebsart
-174 dBm	1Hz	Thermisches Rauschen am Antenneneingang
-157 dBm	400 Hz	CW
-140 dBm	2,4 kHz	SSB
-134 dBm	10 kHz	DRM

3.2 Atmosphärisches Rauschen

Leider kann man das atmosphärische Rauschen nicht so einfach in einer Tabelle darstellen.

Gerrit schreibt dazu:

Es ist am Tage geringer und "welt" sich bei 1MHz von ca. 25dB (Rauschmaß über dem thermischen Rauschen) kommend über ca. 15dB bei 2MHz, wieder hoch auf ca. 25dB bei 8MHz...10MHz, um über 15MHz wieder auf 15dB zu fallen und dann weiter zu sinken auf vielleicht knapp 10dB bei 30MHz. Das ist natürlich kein Grundgesetz, sondern das haben Messungen ergeben.

Genau aufgrund dieser Messungen habe ich vorgeschlagen, dass unser RX für ca. 10dB Rauschmaß entworfen wird, sodass er auch im 10m-Band noch empfindlich genug sein wird. Mit dem schaltbaren Dämpfungsglied am Eingang erhöhen wir dann die Großsignalfestigkeit im unteren KW-Bereich, da hier selbst die Empfindlichkeit bei 10dB NF zu hoch wäre. Hier habe ich daher ein Rauschmaß des RX von 16dB vorgesehen (10dB Grund-NF + 6dB Dämpfungsglied im Eingang)..

3.3 Rauschmaß eines Empfängers

Schaut man sich nun das thermische Rauschen und das atmosphärische Rauschen an, so sieht man, dass das atmosphärische Rauschen im Kurzwellenbereich immer um mindestens 10dB stärker ist, als das thermische Rauschen. Das heißt, dass der Empfänger zumindest das atmosphärische Rauschen hört. Bis zum Eigenrauschen bleibt ein Abstand von mindestens 10 dB, was einem Faktor von 10 entspricht.

Gerrit ist in unserem kleinen Team der System-Architekt. Er hat den Empfänger durchgerechnet und festgelegt, dass der Empfänger ein Rauschmaß von 10 dB haben darf. Das bedeutet, dass durch den Empfänger vom Antenneneingang bis zum Lautsprecher maximal 10 dB Rauschen hinzukommen dürfen. Das ist ein ehrgeiziges Ziel, aber wir



Werner Nitsche
DL7MWN



werden es schaffen. Das Rauschmaß von 10dB hat Gerrit bereits im Pegelplan berücksichtigt.

Wenn wir uns das noch einmal anschauen, dann sehen wir, dass das atmosphärische Rauschen mehr als 10 dB größer ist, als das thermische Rauschen. Wenn wir zum thermischen Rauschen nun noch 10dB Empfänger Rauschmaß dazu addieren, dann ist das Rauschen des Empfängers genau so groß wie das atmosphärische Rauschen oder besser. Das ist für unseren HSDR-4512 ein sehr guter Wert.

3.4 Empfindlichkeit des HSDR-4512

Ein Signal mit -120dBm würde mit 10dB SNR bei 2,4 kHz Bandbreite mindestens 10-mal größer sein, als das Rauschen. Das S-Meter würde ca. 1,2 S-Stufen anzeigen. Bei CW mit 400 Hz Bandbreite kämen noch einmal ca. 8dB wegen der reduzierten Bandbreite dazu. Als CW-Signal könnte man das dann sehr gut aufnehmen. Als SSB-Signal wäre es gerade noch zu verstehen.

Empfindlichkeit beim Rauschen:

-130dBm/2,4 kHz = 0,1 fW (femto Watt); an 50 Ohm entspricht das 0,07 uV.

Empfindlichkeit bei einem Nutzsignal mit 10 dB SNR

Psig= -120dBm; $U=\sqrt{P \cdot R} = 0.2236\mu V$ an 50Ohm.

4. Schlusswort

Es schadet nie, wenn man sich im Voraus Gedanken über die selbst gesteckten Ziele macht. Meistens merkt man dann sehr schnell, dass nicht alles so geht, wie man es gerne möchte. In unserem Fall mit dem HSDR-4512 schaut es zum Glück etwas besser aus, weil sich Gerrit über das Gesamtkonzept schon Gedanken gemacht hat. Es wäre nun ganz einfach für mich, das alles so laufen zu lassen, wie es läuft. Bestimmt würde dann der HSDR-4512 auch gut funktionieren. Aber ich möchte ja dabei etwas lernen, und so versuche ich, die Zusammenhänge zu verstehen. Es ist zwar nicht ganz so einfach für mich, aber Stück für Stück verstehe ich immer wieder etwas mehr. Und das ist es, was mir wirklich wichtig ist.

Ich denke, mit diesen technischen Daten, so wie sich das nun zeigt, sollte der HSDR-4512 eine recht gute Performance bekommen. Wenn ich dafür wieder etwas Zeit habe, möchte ich mich auch mit dem Pegelplan beschäftigen und ihn in ähnlicher Weise vorstellen.

Euer Werner, DL7MWN