

Rausch- Messtechnik

**Mitteilungen
aus dem Institut für
Umwelttechnik
Nonnweiler - Saar
Dr. rer. nat. Schau
DL3LH**

Vorwort

Im Beitrag „Rauschen verlustbehafteter Leitungen“ wurden einige Grundlagen rauschender Vierpole behandelt. Zentrale Bedeutung ist der „Signal zu Rauschabstand“ am Ein- und Ausgang eines n – Tores, der die Rauschzahl definiert.

Es gibt zwei Methoden die Rauschzahl zu bestimmen. Erstens berechnen, zweitens messen. Berechnen ist einfach, wenn die Y - oder A – Parameter der Schaltung bekannt sind. Die 4×4 Matrix wird durch Rauschspannungen und –Ströme erweitert und aus der totalen Rauscheinströmung im Verhältnis zum Rauschen der Quelle wird die Rauschzahl F erhalten.

Die zweite Methode ist die Bestimmung der Rauschzahl durch Messung an der fertigen Schaltung.

Auch hier gibt es 2 Möglichkeiten, die 3 dB und die Y – Methode. Beide Messmethoden haben so ihre Tücken, die bekannt sein müssen, damit die Rauschzahl richtig gemessen wird.

1. Rauschzahl

Die Rauschzahl ist definiert als das Verhältnis der Signal zu Rauschabstände am Ein – und Ausgang einer Schaltung

$$F = (S_1/N_1) : (S_2/N_2) = (S_1/S_2) * (N_2/N_1), \quad (Gl 1)$$

dabei werden die Rauschkenngrößen immer mit der verfügbaren Leistungsverstärkung L_v /1/ vom Eingang zum Ausgang oder umgekehrt übersetzt.

Die Rauschleistung am Ausgang N_2 nach (Gl 1) setzt sich aus zwei Beiträgen zusammen. Erstens aus dem Rauschbeitrag der Quelle, übersetzt mit der verfügbaren Leistungsverstärkung und einem Rauschbeitrag des VP selbst.

Allgemein gilt daher

$$N_2 = N_1 * L_v + N_{zu}. \quad (Gl 2)$$

Für das Nutzsignal ist $S_2 = L_v * S_1$ und mit (Gl 1) wird

$$F = 1 + N_{zu} / (N_1 * L_v). \quad (Gl 3)$$

Der zweite Summand in (Gl 2), die zusätzliche Rauschzahl F_z , bezeichnet den Rauschbeitrag des rauschenden VP

Mit der Abkürzung ist

$$F_z = N_{zu} / (N_1 * L_v) \quad (Gl 4)$$

bzw. mit (Gl 3)

$$F_z = F - 1. \quad (Gl 4)$$

Befindet sich der rauschende Generator und der VP auf der Temperatur T_o , dann ist $N_1 = k T_o B$ und (Gl 4) kann in der Form

$$F_{zo} = N_{zu} / (L_v * k T_o B) \quad (Gl 5)$$

geschrieben werden. Aus (Gl 5) folgt durch Umstellung auch

$$N_{zu} = L_v * F_{zo} * (k T_o B) = L_v * k T_e B. \quad (Gl 6)$$

oder auch

$$N_{zu} = (F_o - 1) * (k T_o B) L_v. \quad (Gl 6a)$$

Bezieht man die Rauschleistung N_{zu} auf den Eingang des VP und betrachtet den VP als rauschfrei, kann der Rauschbeitrag des VP durch eine erhöhte Temperatur T_e des rauschenden Generators beschrieben werden.

$$N_{zu} / L_v = k T_e B. \quad (Gl 7)$$

Das Produkt $T_e = F_{zo} * T_o$ ist eine Rauschtemperatur, die den VP charakterisiert und als effektive Rauschtemperatur bezeichnet wird.

Die Standard-Rauschzahl, bzw. die zusätzliche Rauschzahl F_{zo} ist eine auf die Temperatur T_o bezogene Größe.

Aus (Gl 3) wird bei gleichen Bandbreiten

$$F_o = k (T_e + T_o) B / k T_o B = (T_e + T_o) / T_o \quad (Gl 8)$$

mit T_e als effektive Rauschtemperatur des VP

$$F_o T_o = (T_e + T_o) \quad (Gl 9)$$

Bei $F = 1$ ist nach (Gl 9) $T_e = 0$. T_e ist nicht die physikalische Temperatur, sondern lediglich eine Kenngröße zur Beschreibung des Rauschbeitrages des VP.

Mit (Gl 8) wird die zusätzliche Rauschzahl

$$F_{zo} = F_o - 1 = (T_e - T_o) / T_o = T_e / T_o \quad (Gl 10)$$

die nur den zusätzlichen Rauschbeitrag des VP beschreibt.

Ist der Quellwiderstand auf einer anderen Temperatur als T_o , dann muss die zusätzliche Rauschzahl nach (Gl 9) auf die Temperatur T_1

$$F_{zT1} = F_{zo} T_o / T_1 \quad (Gl 11)$$

umgerechnet werden.

Aus (Gl 11) ergibt sich die wichtige Beziehung

$$F_{zT_1} \cdot T_1 = F_{z0} \cdot T_0 = T_e = \text{Konstant} \quad (\text{Gl 12})$$

d.h. die effektive Rauschtemperatur eines VP ist eine Konstante und nur von den Rauscheigenschaften des VP abhängig. Die Rauschtemperatur beschreibt die Rauscheigenschaften eines VP eindeutig.

Rauschmaß dB	Rauschzahl F	Rausch- Temperatur T_e K
0	1	0
1	1.26	75.1
3	2	290
10	10	2610
20	100	28710

Tab. 1. Einige Rauschmaße in dB, die zugehörige Rauschzahl F nebst Temperatur T_e nach (Gl 10)

Ist die Temperatur $T_1 < T_0$ vergrößert sich die zusätzliche Rauschzahl nach (Gl 11) oder die Rauschzahl

$$F_{T_1} = (F_0 - 1) T_0 / T_1 - 1 \quad (\text{Gl 13})$$

des VP, die bei Umgebungstemperatur T_0 gemessen wurde. Die einfachere Beziehung ist (Gl 12). Die zusätzliche Rauschzahl wird im Verhältnis der Temperaturen umgerechnet.

2. Die Kettenschaltung rauschender Vierpole

Werden rauschende Vierpole in Reihe geschaltet, berechnet sich die Gesamttrauschzahl aus der Friisschen Gleichung zu

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_{z2}/L_{V1} + F_{z3}/L_{V1}L_{V2} + \dots \quad (\text{Gl 14})$$

Besteht die Kette nur aus zwei Stufen, dann ist die Gesamttrauschzahl

$$F_{12} = F_1 + F_{z2} / L_{V1} \quad (\text{Gl 15})$$

die sich aus der Rauschzahl der ersten Stufe zuzüglich der zusätzlichen Rauschzahl der zweiten Stufe dividiert durch die verfügbare Leistungsverstärkung der ersten Stufe berechnet.

Schreibt man (Gl 15) etwas um, wird entsprechend

$$T_{12} = T_1 + T_2/L_{V1} \quad (\text{Gl 16})$$

für die Gesamttrauschtemperatur eines 2 stufigen, rauschenden Systems erhalten. Mit „1“ wird immer die erste Stufe bezeichnet und mit „2“ die zweite Stufe hinter dem Messobjekt.

Mit (Gl 15) folgt die Rauschzahl der ersten Stufe

$$F_1 = F_{12} - F_{z2} / L_{V1} \quad (\text{Gl 17})$$

oder die Temperatur des Messobjektes

$$T_1 = T_{12} - T_2/L_{V1}. \quad (\text{Gl 18})$$

Will man die Rauschzahl nur der ersten Stufe ermitteln, muss die zusätzliche Rauschzahl der 2. Stufe und die verfügbare Leistungsverstärkung der ersten Stufe bekannt sein.

Wie wir später sehen werden, kann die Verstärkung aus Rauschmessgrößen ermittelt werden.

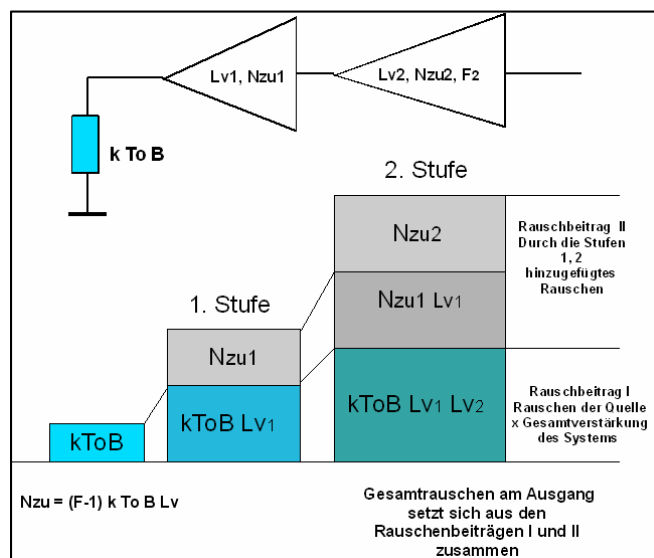


Bild 1. Rauschbeiträge einer 2 stufigen Anordnung rauschender Vierpole

3. Messung der Rauschzahl

Es gibt 2 Methoden um die Rauschzahl zu messen, die 3 dB - und die Y-Methode.

Das Prinzip der Rauschzahlmessung ist bei beiden Methoden grundsätzlich gleich. An die Eingangsklemmen des Messobjektes wird eine veränderbare Rauschquelle angeschaltet, deren Rauschbandbreite größer als die Bandbreite des Messobjektes sein muss.

Im ausgeschalteten Betrieb ist diese Rauschquelle nach (Gl 9) auf der Temperatur $T_0 + T_e$, im eingeschalteten Zustand auf einer Temperatur $T_1 > T_0 + T_e$, wenn das Messobjekt als rauschfrei (Gl 7) betrachtet wird.

Die 3-dB und Y- Methode unterscheiden sich nur dadurch, dass bei der 3 dB-Methode eine kontinuierlich veränderbare Rauschquelle und bei der

Y-Methode eine Rauschquelle mit einem fest eingestellten Temperaturhub verwendet wird.

Am Ausgang des zu messenden Systems ist ein Leistungsmessgerät erforderlich, dessen Bandbreite kleiner sein muss, als die Bandbreite des Messobjektes, denn auch dieses Leistungsmessgerät fügt einen Rauschbeitrag dem Messwert hinzu.

Das Anzeigeinstrument muss rein quadratisch wirken, damit die Rauschleistung richtig angezeigt wird. Steht ein solches Messgerät nicht zur Verfügung, kann ein geeichtes Dämpfungsglied vor dem Messwerk eingeschleift werden.

Das Dämpfungsglied muss ein – und ausgangseitig mit der Systemimpedanz abgeschlossen sein, damit die eingestellten Dämpfungswerte korrekt sind.

Man kann sich behelfen, wenn das Dämpfungsglied auf eine Grunddämpfung von 20 oder 30 dB eingestellt wird und von dieser „Nullstellung“ ausgegangen wird.

Die Methode mit dem geeichten Dämpfungsglied ist immer der direkten Anzeige vorzuziehen, da grundsätzliche Fehler des Messwerkes ausgeschlossen werden.

Die Bandbreite des Anzeigeinstrumentes **muss** kleiner sein, als die Bandbreite des Messobjektes. Das kann mit einem schmalbandigen Filter vor dem Messwerk erreicht werden. Ist das nicht möglich, muss die gemessene Rauschzahl umständlich korrigiert werden.

Manchmal will man nur die Gesamtrauschzahl und die Grenzempfindlichkeit eines Empfangsystems wissen, dann ist eine Unterscheidung der Stufen nach (Gl 15) nicht erforderlich.

Bei der Messung der Rauschzahl wird die Regelung des Empfangssystems ausgeschaltet oder mit einer festen Vorspannung (Batterie) arretiert.

4. Die 3 dB-Methode

Bei der 3dB-Methode wird nach (Gl 1) die Rauschleistung der Quelle am Eingang der Schaltung so weit erhöht bis der Signal zu Rauschabstand am Ausgang „1“ ist.

Als Signalleistung S_1 wird ein breitbandiges Rauschsignal mit weißem Rauschen verwendet.

Mit $S_2 / N_2 = 1$ ist die Gesamtrauschleistung am Ausgang verdoppelt - entsprechend 3 dB.

Aus (Gl 1) wird dann

$$S_1 = F * N_1 \quad (Gl 18)$$

Ist der Rauschgenerator in Vielfachen von $(k * T_o)$ $(F * k T_o)$ geeicht, dann zeigt die Anzeige am Rauschgenerator direkt die Rauschzahl des Messobjektes an. Nach (Gl 9) ist

$$F * T_o = (T_e + T_o) \quad (Gl 19)$$

und mit (Gl 18) die zugeführte Rauschleistung

$$S_1 = k B (T_e + T_o) = k B * (F_o * T_o). \quad (Gl 20)$$

Der Messvorgang zur Bestimmung der Rauschzahl nach der 3 dB Methode ist sehr einfach:

Bei ausgeschaltetem Rauschgenerator wird am Leistungsmesser mit dem Bereichsschalter ein beliebiger Leistungswert eingestellt, der im oberen Drittel des Anzeigeinstrumentes liegen sollte, damit man besser ablesen kann und der relative Fehler gering bleibt.

Jetzt wird das geeichte Dämpfungsglied vor dem Leistungsmesser (oder ein beliebiges anderes Anzeigeinstrument) um 3 dB erhöht und die Rauschleistung des Rauschgenerators so weit erhöht, bis der gleiche Anzeigewert erreicht ist.

Am geeichten Rauschgenerator kann direkt die Rauschzahl F in Vielfachen von $k * T_o$ abgelesen werden, wenn sich der Rauschgenerator - besonders bei Messung kleiner Rauschzahlen - durch längeren Aufenthalt auf Raumtemperatur T_o befindet. Ein geeigneter Rauschgenerator ist z.B. der Typ SKTU von R&S (Bild 2) oder vergleichbare Systeme.



Bild 2: Rauschgenerator SKTU von R&S

5. Rauschzahlmessung mit der Y – Methode

Bei der Y-Methode wird eine Rauschquelle auf eine bestimmte feste Rauschtemperatur $T_h > T_o$ geschaltet und als ENR – Excess Noise Ratio und die Änderung als Temperaturhub bezeichnet. Dabei gilt

$$ENR = 10 \log (T_h - T_k) / T_o. \quad (Gl 21)$$

mit T_h als „heiße“ und T_k als „kalte“ Temperatur, denn nicht immer kann davon ausgegangen werden, dass $T_k = T_o$ ist.



Bild 3: Y- Rauschquelle der Firma AIL

Für die Messung kleiner Rauschzahlen gibt es Y-Rauschquellen mit einem ENR = 6.5 und für größere Rauschzahlen ENR = 15.5 dB.

Bei besonders rauscharmen Systemen ist es sinnvoll auf eine niedrigere Temperatur $T_1 < T_o$ umzuschalten, z.B. auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs mit $T_1 = 77,36 \text{ K}$ (-195.79°C) oder Helium $T_1 = 4.22 \text{ K}$ (-268.93°C).

Das hat den Vorteil, das rauscharme System kann nicht durch die hohe Rauschleistung nach (Gl 21) in die Sättigung getrieben werden, was bei der Rauschmessung mit der Y-Methode immer zu überprüfen ist.

Die Linearität kann einfach mit einem Dämpfungsglied zwischen Rauschquelle und Messobjekt überprüft werden. Wird das Dämpfungsglied bei eingeschaltetem Rauschgenerator um z.B. um 1 dB erhöht, muss sich die Anzeige um 1 dB verringern.

Die Rauschleistung am Ausgang eines rauschenden VP ist, wenn sich der Generator auf der Temperatur $(T_o + T_e)$ befindet /8/

$$N_2 = N_1 * L_v + N_{zu} = k T_o B L_v + k T_e B L_v = k B L_v (T_e + T_o) \quad (\text{Gl 22})$$

Die Gleichung (Gl 22) ist eine Gerade $N_2 = m T + a$ und besteht aus einem konstantem Rauschleistungsanteil $a = k T_e B L_v$ und einem von der Rauschtemperatur des Quellwiderstandes abhängigen Teil.

Die Steigung der Geraden ist $k B L_v$. Bei $N_2 = 0$ schneidet die Gerade die x-Achse bei der fiktiven Temperatur $T = -T_e$ und bei $T_o = 0$ wird der Rauschbeitrag N_{2zu} erhalten. Dieser Zusammenhang kann für die Rauschmessung nach der Y – Methode verwendet werden.

Ist die ausgeschaltete Y-Rauschquelle auf der Temperatur T_k (kalt) und die Temperatur nach Anschaltungen der Y-Rauschquelle als T_h (heiß), dann ergeben sich am Ausgang des Systems die beiden den Rauschtemperaturen zugeordneten Rauschleistungen

$$N_{2k} = k B L_v (T_k + T_e). \quad (\text{Gl 23})$$

$$N_{2h} = k B L_v (T_h + T_e). \quad (\text{Gl 24})$$

Das Verhältnis der Rauschleistungen ist

$$N_{2h}/N_{2k} = (T_h + T_e) / (T_k + T_e) = Y \quad (\text{Gl 25})$$

und als Y – Faktor definiert. Aus (Gl 25) folgt die Rauschtemperatur des Systems

$$T_e = (T_h - Y T_k) : (Y - 1). \quad (\text{Gl 26})$$

und mit $T_e = T_o (F_o - 1) / 8/$ kann die Rauschtemperatur T_e in die Rauschzahl

$$F_o = [(T_h - Y T_k) : T_o (Y - 1)] + 1 \quad (\text{Gl 27})$$

umgerechnet werden. Der lineare Wert des ENR (nicht in dB) ist nach (Gl 21)

$$\text{ENR} = (T_h - T_k) / T_o. \quad (\text{Gl 28})$$

Ist die Rauschquelle auf der Temperatur $T_k = T_o$, dann wird aus (Gl 28)

$$\text{ENR} = F_o * (Y - 1). \quad (\text{Gl 29})$$

und mit (Gl 26)

$$T_e = (T_h - Y T_o) : (Y - 1) \quad (\text{Gl 30})$$

oder auch

$$T_e = (T_h/T_o - Y) : [T_o (Y - 1)]. \quad (\text{Gl 31})$$

Wäre das System rauschfrei, dann ist

$$(T_h/T_k) - Y = 0 \quad (\text{Gl 32})$$

und der Temperaturhub gleich dem Y – Faktor.

Beispiel 5.1

Für eine Y-Rauschquelle der Fa. AIL wird ein ENR = 15.5 dB angegeben. Die Spannungsversorgung ist $U = 28 \text{ VDC}$. Im ausgeschalteten Zustand ist die Rauschtemperatur $T_o = 290 \text{ K}$. Ist die Gleichspannung angelegt, wird nach (Gl 21) eine Rauschtemperatur $T_h = 10579,58 \text{ K}$ erreicht. Bei exakten Messungen kleiner Rauschzahlen muss die tatsächliche Raumtemperatur gemessen werden und ist dann u.U. nicht $T_o = 290 \text{ K}$. Die Korrektur wird weiter unten berechnet. Eine Rauschquelle mit einem ENR = 6.5 dB hat eine Rauschtemperatur $T_h = 1005.38 \text{ K}$ bezogen auf T_o .

Beispiel 5.2

Wir messen die Rauschzahl eines Systems mit einer Y-Rauschquelle, das ENR = 15.5 dB. Wird als Rauschleistungsanzeiger ein schmalbandiger Leistungsmesser (mit Filter) verwendet, gestaltet sich die Messung sehr einfach.

Bei nicht angeschalteter Rauschquelle wird der Leistungsmesser mit dem Bereichswechsler auf einen ablesbaren Leistungswert im oberen Drittel des Instrumentes eingestellt.

Jetzt wird die Rauschquelle an Spannung gelegt. Wäre das Messobjekt rauschfrei, würde sich am Messgerät der gleiche Temperaturhub einstellen wie die Quelle hat, bspw. ENR = 15.5 dB.

Bei einem rauschenden System ist der Temperaturhub entsprechend kleiner. Die Differenz ist die Rauschzahl oder bei Werten in dB wird sofort das Rauschmaß des Systems erhalten.

Noch einfacher gestaltet sich die Messung mit einem geeichten Dämpfungsglied vor dem Leistungsmesser und hinter dem schmalbandigen Filter.

Bei eingeschalteter Rauschquelle wird das Dämpfungsglied von seiner Nullstellung so weit erhöht, bis die ursprüngliche Anzeige wieder hergestellt ist. Die Differenz der Einstellwerte des Dämpfungsgliedes in dB zeigt direkt die Rauschzahl in dB an. Ein gutes, geeichtes Dämpfungsglied für Rauschmessungen gestattet Einstellungen in Schritten von $\Delta D = 0.1$ dB.

6. Messung der Rauschzahl eines Vierpol

Mit der 3dB oder Y-Methode kann auch die Rauschzahl nur einer Stufe, z.B. eines rauscharmen Vorverstärker bestimmt werden.

Nach (Gl 17) ist die Rauschzahl der ersten Stufe

$$F_1 = F_{12} - F_{22} / L_{V1} \quad (\text{Gl 17})$$

oder deren Temperatur

$$T_1 = T_{12} - T_2 / L_{V1}. \quad (\text{Gl 18})$$

Die Messung läuft in 2 Schritten ab. Im ersten Schritt wird die Gesamtrauschzahl F_{12} gemessen. Im zweiten Schritt die Rauschzahl nur der zweiten Stufe. Dazu wird die Rauschquelle direkt an den Eingang der 2. Stufe geschaltet.

Zu beachten ist die Linearität dieser zweiten Stufe und die Tatsache, dass die Rauschzahl dieser 2. Stufe vom Innenwiderstand der Quelle abhängig ist.

Ist bei der Messung der Gesamtrauschzahl F_{12} zwischen beiden Stufen keine Leistungsanpassung vorhanden, müssen diese Impedanzverhältnisse nachgebildet werden, denn Rauschanpassung für eine minimale Rauschzahl eines VP ist nur bei Zwischenbasisstufen identisch mit der Leistungsanpassung.

Das Verhältnis der Rauschleistungen nur der 2. Stufe ist entsprechend (Gl 25)

$$Y_2 = (T_h + T_2) / (T_k + T_2) \quad (\text{Gl 33})$$

oder die Rauschtemperatur entsprechend (Gl 26)

$$T_2 = (T_h - Y_2 T_k) : (Y_2 - 1). \quad (\text{Gl 34})$$

Zur Erinnerung T_k ist die physikalische Temperatur der Rauschquelle im ausgeschalteten Zustand und T_h die (heiße) Rauschtemperatur der Rauschquelle nach

(Gl 21). Meistens kann von $T_k = T_o$ ausgegangen werden, was die Berechnung vereinfacht.

Was noch fehlt ist die verfügbare Leistungsverstärkung der ersten Stufe. Ist die Verstärkung L_{V1} groß, dann ist die Korrektur der Temperatur nach (Gl 18) kaum erforderlich. Bei geringen Verstärkungen oder Dämpfungen, wie bei Mischern, ist der Einfluss nicht zu vernachlässigen.

Durch die zwei Messungen sind uns jeweils die Rauschleistungen bei kalter und heißer Quelle nach der Y – Methode bekannt.

Bei der Messung der Gesamtrauschzahl F_{12} sind die Rauschleistung am Leistungsmesser

$$N_{12k} = k B L_{V1} L_{V2} (T_k + T_{12}). \quad (\text{Gl 35})$$

$$N_{12h} = k B L_{V1} L_{V2} (T_h + T_{12}). \quad (\text{Gl 36})$$

und die Rauschleistungen am Leistungsmesser, wenn nur die zweite Stufe gemessen wird

$$N_{2k} = k B L_{V2} (T_k + T_2) \quad (\text{Gl 37})$$

$$N_{2h} = k B L_{V2} (T_h + T_2) \quad (\text{Gl 38})$$

Die Differenz der (Gl 35, 36) ist

$$N_{12h} - N_{12k} = k B L_{V1} L_{V2} (T_h - T_k) \quad (\text{Gl 39})$$

Die Differenz der (Gl 37, 38) ist

$$N_{2h} - N_{2k} = k B L_{V2} (T_h - T_k). \quad (\text{Gl 40})$$

Das Verhältnis der (Gl 39, 40) wird dann

$$(N_{12h} - N_{12k}) : (N_{2h} - N_{2k}) = L_{V1} \quad (\text{Gl 41})$$

und wir erhalten die Leistungsverstärkung der ersten Stufe unter der Voraussetzung gleicher Bandbreiten.

Bei diesem Messverfahren muss das schmalbandige Filter vor der zweiten Stufe eingeschleift sein und die Bestimmung von T_2 erfolgt mit diesem Filter und geht in die Messung der zweiten Stufe (Gl 33) mit ein.

7. Korrekturen bei der Rauschmessung

Ist vor dem Messobjekt eine Dämpfung vorhanden, wird dessen Rauschzahl vergrößert. Die Rauschzahl eines Dämpfungsgliedes ist nach /8/

$$F_D = D_V \quad (\text{Gl 42})$$

d.h. die Rauschzahl entspricht seinem Dämpfungswert.

Nach (Gl 14) ist die Kettenrauschzahl für eine zweistufige Anordnung

$$F_{12} = F_1 + F_{z2}/L_{V1} \quad (\text{Gl 43})$$

und mit $L_{V1} = D_{V1}$, sowie $F_1 = D_{V1}$ wird aus (Gl 43)

$$F_{12} = D_{V1} + F_{z2} D_{V1} = D_V (1 + F_{z2}) = D_{V1} * F_2 \quad (\text{Gl 44})$$

d.h. die Rauschzahl des Messobjektes wird um den Dämpfungsfaktor D_V erhöht.

Rechnet man in dB, dann ergibt sich die einfache Beziehung: Der dB Wert der Rauschzahl und der dB der Dämpfung können einfach addiert werden. Aus (Gl 44) folgt die zusätzliche Rauschzahl

$$F_{z12} = F_{12} - 1 = (D_{V1} * F_2) - 1 \quad (\text{Gl 45})$$

und daraus die Rauschtemperatur des Messobjektes mit einem davor liegenden Dämpfungsglied

$$T_{12} = F_{z12} * T_0 = T_0 * [(D_{V1} * F_2) - 1] \quad (\text{Gl 46})$$

Beispiel 7.1

Das Rauschmaß eines Verstärkers ist $F_2 = 1.2$ dB (linearer Wert $F_2 = 1.318$), bezogen auf T_0 . Vor dem Verstärker ist ein Dämpfungsglied von $D_V = 10$ dB eingeschleift um Anpassung zu gewährleisten. Welches Gesamtrauschmaß stellt sich ein, und welche Rauschtemperatur hat dieses System?

Das Gesamtrauschmaß ist nach (Gl 44) $F_{12} = 11.2$ dB und daraus die Rauschzahl durch entlogarithmieren $F_{12} = 13.18$.

Die Rauschtemperatur ist nach (Gl 46) $T_{12} = 290 * [10 * 1.318 - 1] \text{ K} = 3532.9 \text{ K}$. Die Rauschtemperatur des Verstärkers ohne Dämpfungsglied ist $T_e = F_{z2} * T_0 = 0.318 * 290 \text{ K} = 92.29 \text{ K}$.

Ein gewolltes oder ungewolltes Dämpfungsglied vor einem rauscharmen Verstärker verfälscht das Messergebnis erheblich.

Angenommen wir wissen nichts von der Dämpfung vor dem rauscharmen Verstärker und würden eine Rauschzahlmessung durchführen, dann wäre das Ergebnis für die Rauschzahl des Verstärkers absolut falsch.

Beispiel 7.2

Wir messen das Rauschmaß eines rauscharmen Systems zu $F = 1.6$ dB und kalkulieren eine Dämpfung durch Kabel und Stecker bis zum Fußpunkt der Antenne mit $D_V = 0.3$ dB. Nach (Gl 44) wird das Rauschmaß des Verstärkers $F = 1.6 \text{ dB} - 0.3 \text{ dB} = 1.3 \text{ dB}$.

Der lineare Wert ist die Rauschzahl $F = 1.3489$ und daraus die Rauschtemperatur nur des Verstärkers

nach (Gl 10) $T_e = F_{z0} * T_0 = 0.3489 * 290 \text{ K} = 101.19 \text{ K}$.

8. Änderung der Rauschzahl bei der 3 dB Methode

Ein Dämpfungsglied hinter einem Rauschgenerator verändert die Skala der Eichwerte $F * kT_0$. Nach (Gl 44) wird

$$F_{12} = D_{V1} * F_2 \quad (\text{Gl 47})$$

Rechnet man in dB Werten, dann wird die Rauschzahl in dB um den Dämpfungswert D_V in dB erhöht.

Beispiel 8.1

Eine kontinuierliche Rauschquelle zeigt einen Wert von $F = 4.3$ dB ohne Dämpfungsglied. Wir schalten ein 6 dB Dämpfungsglied hinter den Rauschgenerator. Der Rauschgenerator muss jetzt auf $F = 10.4$ dB eingestellt werden, um die gleiche Rauschleistungsverdoppelung am Systemausgang zu haben oder auch die Rauschzahl wird um 6 dB zu hoch gemessen.

9. Veränderung des ENR durch Dämpfungsglied

Ein Dämpfungsglied zwischen Rauschgenerator und Messobjekt wird oft verwendet um eine Übersteuerung des rauscharmen Messobjektes bei der Y – Methode zu vermeiden.

Dazu wird direkt hinter der Rauschquelle ein Dämpfungsglied mit der Dämpfung D_V eingeschleift. (Die bessere Methode wäre allerdings die Temperatur auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs oder Helium herabzusetzen)

Ist die Rauschquelle und das Dämpfungsglied auf T_0 dann ist nach (Gl 29) das

$$\text{ENR} = F_{12} * (Y - 1). \quad (\text{Gl 48})$$

F_{12} die Rauschzahl der Reihenschaltung Dämpfungsglied - rauschenden VP.

Nach (Gl 44) ist aber auch $F_{12} = D_V * F_2$ und eingesetzt in (Gl 47) wird daraus

$$\text{ENR} = D_V * F_2 * (Y - 1). \quad (\text{Gl 49})$$

Wir teilen das ENR durch die Dämpfung D_V und erhalten ein neues „Excess-Noise-Ratio“

$$\text{ENR}_{\text{neu}} = \text{ENR} / D_V = F_2 (Y - 1). \quad (\text{Gl 50})$$

Rechnet man das ENR in dB (was fast ausschließlich im praktischen Gebrauch benutzt wird), dann wird das ENR um die Dämpfung des Dämpfungsgliedes in dB

verringert. Man braucht keine akrobatischen Kopfleistungen um das neue ENR zu bestimmen.

Beispiel 8.1

Eine Y – Rauschquelle hat ein ENR = 15.5 dB. Mit einem Dämpfungsglied von $D_v = 10$ dB reduziert sich das ENR auf $ENR_{neu} = 5.5$ dB.

Bei ENR = 15.5 dB war nach Beispiel 5.1 bei $T_k = T_o$ $T_h = 10579,58$ K. Bei ENR = 5.5 dB ist die „heiße“ Temperatur $T_h = 1318.95$ K.

Die Grenze ist erreicht, wenn ein Dämpfungsglied von $D_v = 15.5$ dB eingesetzt wird. Die Rauschquelle ist wirkungslos geworden und rauscht mit $k T_o B$.

Hier sei auf die einschlägige Literatur oder auf meinen Beitrag: „Parametrischer Gleichlage Abwärtsmischer mit reellem Spiegelleitwert“ verwiesen. Dieser Beitrag enthält die mathematischen Zusammenhänge für die Messung der Einseiten- und Zweiseitenband Rauschzahl von Mischern bei hohen Umsetzungsverhältnissen.

Dr. Schau, DL3LH
wa-schau@t-online.de
www.heide-holst.de

10. Rauschmessungen an Mischern

Bei Mischern mit hohem Umsetzungsverhältnissen ist die Spiegelfrequenz in der Nähe der Signalfrequenz.

Wird eine Rauschquelle an den Eingang gelegt, rauscht diese Quelle auch in den Spiegel. Je nach Bandbreite und Leistungsverstärkung des Spiegels wird ein zusätzlicher Rauschbeitrag in die ZF-Ebene eingebracht. Berücksichtigt man nicht das Rauschen des Spiegels wird die Rauschzahl des Mischers falsch gemessen.

Literatur auf www.3610khz.de /AFu-Wiki:

- /1/ Antenne macht die Musik, DL3LH
- /2/ Ströme, Spannungen und Verlustleistungen in Anpassnetzwerken, DL3LH
- /3/ Antennen Tuning I – IV, DL3LH
- /4/ Passive Netzwerke zur Anpassung I - V, DL3LH
- /5/ Antennen Messtechnik I - IV, DL3LH
- /6/ Einführung in die „Theoretische Elektrotechnik“, Karl Küpfmüller, Springer Verlag
- /7/ Rauschen verlustbehafteter Leitungen, DL3LH

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.