



Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik



Messung der Rauschzahl von Mikrowellenkomponenten

Versuch 4

Betreuer: Werner Sörgel
Erstauflage: WS 2003/2004

Stand: 07. Dezember 2005

Postanschrift: Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik
Kaiserstraße 12
D - 76128 Karlsruhe

Gebäude: Engesserstraße 5, Geb. 30.10

Tel.: +49 (0) 721 608 25 22
Skr.: +49 (0) 721 608 25 23
Fax.: +49 (0) 721 69 18 65
Email: ihe@ihe.uka.de
WWW: <http://www.ihe.uni-karlsruhe.de>

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Theoretische Grundlagen | 4 |
| 2.1 | Rauschen | 4 |
| 2.1.1 | Thermisches Rauschen | 5 |
| 2.1.2 | Schrotrauschen | 5 |
| 2.1.3 | 1/f - Rauschen | 6 |
| 2.1.4 | Generations - Rekombinations - Rauschen | 6 |
| 2.1.5 | Zweitore | 7 |
| 2.1.6 | Rauschzahl | 8 |
| 2.1.7 | Kreise konstanten Rauschens | 11 |
| 2.2 | Prinzip der Rauschzahlmessung | 12 |
| 2.3 | Ein- und Doppelseitenbandmessung | 14 |
| 3 | Vorbereitende Aufgaben | 16 |
| 3.1 | Aufgabe 1 | 16 |
| 3.2 | Aufgabe 2 | 16 |
| 3.3 | Aufgabe 3 | 17 |
| 3.4 | Aufgabe 4 | 17 |
| 4 | Der Messplatz | 18 |
| 4.1 | Das Rauschzahlmesssystem HP 8970S | 18 |
| 4.2 | Anschließen der Geräte | 19 |
| 4.2.1 | Oszilloskop PHILLIPS und Rauschzahlmessgerät HP 8970B | 19 |
| 4.2.2 | Rauschzahlmessgerät HP 8970B und Test-Set HP 8971C | 20 |
| 4.2.3 | Test-Set HP 8971C und Signalgenerator HP 8340A | 20 |
| 4.2.4 | Rauschzahlmessgerät HP 8970B und Rauschquelle HP 346C | 20 |
| 4.3 | Einschalten und Voreinstellungen | 21 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.1 | ENR | 22 |
| 4.3.2 | Kalibration des Rauschzahlmesssystems | 23 |
| 4.4 | Vermessung der Zweitore | 25 |
| 4.5 | Fehlermeldungen des Rauschzahlmessgerätes | 26 |
| 5 | Versuchsdurchführung | 29 |
| 5.1 | Filter | 30 |
| 5.2 | Dämpfungsglied (-10 dB) | 30 |
| 5.3 | Rauscharmer Verstärker (LNA) | 30 |
| 5.4 | Verstärker für mittlere Leistungen (MPA) | 31 |
| 5.5 | LNA mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied (-10 dB) | 32 |
| 5.6 | LNA mit nachgeschaltetem MPA | 32 |
| A | Geräte- und Teileliste | 34 |

1 Einleitung

Wird ein hochfrequentes Signal mit bekanntem Signal zu Rauschverhältnis (SNR) mittels eines Verstärker-Zweiters übertragen, verschlechtert sich das SNR am Ausgang des Zweiters. Die Ursache für das schlechtere SNR am Ausgang ist bei den Übertragungseigenschaften des Zweiters selbst zu finden: Der Zweiter verstärkt sowohl das Signal als auch das überlagerte Rauschen, zusätzlich jedoch verschlechtert sein Eigenrauschen das gesamte SNR am Ausgang. Das Rauschen begrenzt also die Auflösung bzw. die Empfindlichkeit eines Systems. Es ist daher erforderlich das Rauschverhalten einzelner Bauteile bzw. kompletter Schaltungen zu charakterisieren um dann die Rauscheigenschaften eines Systems vorhersagen zu können und gegebenenfalls Optimierungen durchzuführen. Zur Beschreibung der Übertragungseigenschaften bezüglich des Rauschens eines Zweiters wird unter anderem die Rauschzahl und das Rauschmaß verwendet. In diesem Versuch sollen die Rauschzahlen von einzelnen bzw. in Reihe geschalteten aktiven und passiven Zweitoren gemessen werden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Rauschen

Misst man die Spannung $u(t)$ über den Klemmen eines ansonsten unbeschalteten ohmschen Widerstandes R , so stellt man fest, dass diese nicht konstant 0 V ist. Sie variiert vielmehr mit kleiner Amplitude in zufälliger Weise um den Mittelwert 0 V. $u(t)$ kann durch einen stochastischen Prozess beschrieben werden.

Verstärkt man diese zeitvariable Spannung und macht sie über einen Lautsprecher hörbar, so ertönt ein gleichmäßiges Rauschen. Man nennt daher diesen Zufallsprozess „Widerstandsrauschen“.

Neben dem Widerstandsrauschen gibt es eine Reihe weiterer Zufallsprozesse mit ähnlichen Eigenschaften. Man fasst all diese Prozesse unter dem Namen „elektronisches Rauschen“ zusammen.

Elektronisches Rauschen überlagert sich in praktisch allen hochfrequenztechnischen Systemen den erwünschten Signalen. Diese *Nutzsignale* werden daher mehr oder weniger stark durch *Rauschsignale* gestört.

Die Minimierung von Rauscheffekten ist somit ein wünschenswertes Ziel, das nur dann erreicht werden kann, wenn die Ursachen und Wirkung der Effekte hinreichend genau untersucht werden [Hof 97].

Unregelmäßige, zufällige Ereignisse oder Vorgänge ohne deterministische Gesetzmäßigkeiten können mathematisch durch stochastische Prozesse beschrieben werden. Die spektrale Leistungsdichte hierbei ist ein geeignetes Mittel um Rauschprozesse zu beschreiben. Aus der spektralen Leistungsdichte lässt sich die Rauschleistung ermitteln.

Mit Elektronischem Rauschen werden alle Rauschprozesse bezeichnet, bei denen die bewegten Teilchen elektrische Ladungsträger sind.

Es gibt mehrere Arten von Rauschprozessen, mit verschiedenen physikalischen Ursachen, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

2.1.1 Thermisches Rauschen

Thermisches Rauschen, auch Widerstandsrauschen, Johnson-Rauschen oder Nyquist-rauschen genannt, ist die unregelmäßige, zufällige Bewegung von freien elektrischen Ladungsträgern in einem elektrisch leitenden Medium (elektronisches oder elektrisches Bauelement) aufgrund thermischer Energie, d. h. thermisches Rauschen ist nur von der Temperatur des Bauelements abhängig, nicht aber von der am Bauelement anliegenden äußeren Spannung, bzw. dem Strom, welcher durch das Bauelement fließt und nicht vom Widerstand des Bauelements. Für die Rauschleistung N gilt:

$$N = k_B T B \quad (2.1)$$

| | | |
|-------|----------------------------------|---------------------|
| N | in W | Rauschleistung |
| k_B | $= 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Ws/K | Boltzmann-Konstante |
| T | in K | absolute Temperatur |
| B | in Hz | Bandbreite |

Die Rauschleistung N nimmt mit der Bandbreite B zu, kann aber nicht unendlich groß werden, da diese Formel nur für $hf \ll k_B T$, also nur für Frequenzen gilt bei denen die Photonenenergie wesentlich kleiner als die thermische Energie des emittierenden Moleküls ist (vgl. [Hof 97]).

2.1.2 Schrotrauschen

Schrotrauschen tritt in Bauelementen auf, welche von einem Gleichstromanteil durchflossen werden, und wird durch den unkontinuierlichen Übergang der freien Ladungsträger von einem Medium in ein anderes Medium innerhalb eines Bauelements verursacht. Die freien Ladungsträger überschreiten die Grenze zweier Medien als ganzzahliges, vielfaches der Elementarladung und liefern dabei einen kurzen Strompuls. Das Schrotrauschen ist dem mittleren Gleichstromanteil proportional.

Das Schrotrauschen lässt sich zur Erzeugung größerer Rauschleistungsdichten benutzen. Wie das thermische Rauschen produziert der Schroteffekt ein in weiten Frequenzbereichen weißes Rauschspektrum, das der Stärke des mittleren fließenden Gleichstroms proportional ist. Der Proportionalitätsfaktor hängt von der Art der am Strom beteiligten

Ladungsträger ab. Besteht der Strom aus genau einer Ladungsträgerart, bei der jeder Ladungsträger genau die Ladung q hat, so ist die spektrale Leistungsdichte $W(\Delta f)$, die der Strom bei Durchfluss durch einen Widerstand R erzeugt:

$$W(\Delta f) = 2Rq|I| \quad (2.2)$$

| | | |
|---------------|-------------|----------------------------|
| $W(\Delta f)$ | in Ws | Rauschleistungsdichte |
| R | in Ω | Widerstand |
| q | in As | Ladung |
| I | in A | im Mittel fließender Strom |

Das Schrotrauschen hat zur Folge, dass jeder Verstärker, der im Arbeitspunkt Gleichstrom fließen lässt, von sich aus Rauschleistung produziert, die um so größer ist, je größer der Strom im Arbeitspunkt ist.

Schottky entdeckte diesen Rauscheffekt 1918 und benannte ihn mit Schrotrauschen, weil er dem zufälligen Auftreffen von Schrotkugeln auf eine Fläche ähnelt.

2.1.3 1/f - Rauschen

Durch Fluktuation von Ladungsträgern an der Oberfläche von Halbleitern oder auch den Kathoden von Elektronenröhren kommt es zu einem Rauscheffekt, dessen Leistungsdichte bei Frequenzen f von einigen Hz bis zu einigen MHz näherungsweise umgekehrt proportional zu f oder einer Potenz davon ist. Man nennt diesen Prozess daher 1/f-Rauschen oder Funkelrauschen.

2.1.4 Generations - Rekombinations - Rauschen

In Halbleitern trägt die Generation und Rekombination von Ladungsträgerpaaren zum Rauschen bei, das konsequenterweise Generations - Rekombinations - Rauschen genannt wird. Es ist ähnlich zu beschreiben wie das Schrotrauschen, bringt aber durch die Beteiligung zweier verschiedener Ladungsträgerarten eine doppelt so hohe Ausbeute in der Leistungsdichte. Dies ist insbesondere zur absichtlichen Erzeugung von Rauschen für Messzwecke nützlich. Für diese Zwecke kann man Halbleiterdioden benutzen, bei denen

durch geringfügige Variation des Arbeitspunktes relativ große Variationen des Gleichstroms erreichbar sind. Man nennt die speziell für diese Zwecke benutzten Bauelemente Rauschdioden [Hof 97].

2.1.5 Zweitore

Die Beschreibung von linearen Zweitoren erfolgt durch Streuparameter, die in einer Streumatrix zusammengefasst sind.

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.3)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.4)$$

$$b = [S(\omega)]a \quad (2.5)$$

b_1 in \sqrt{W} austretende Welle an Tor 1

b_2 in \sqrt{W} austretende Welle an Tor 2

a_1 in \sqrt{W} eintretende Welle an Tor 1

a_2 in \sqrt{W} austretende Welle an Tor 2

S_{11} Reflektionsfaktor an Tor 1

S_{12} Transmissionsfaktor an Tor 1

S_{21} Transmissionsfaktor an Tor 2

S_{22} Reflektionsfaktor an Tor 2

Bild 2.1 zeigt ein Zweitor mit den hineinlaufenden Leistungswellen a_i und herauslaufenden Leistungswellen b_i .

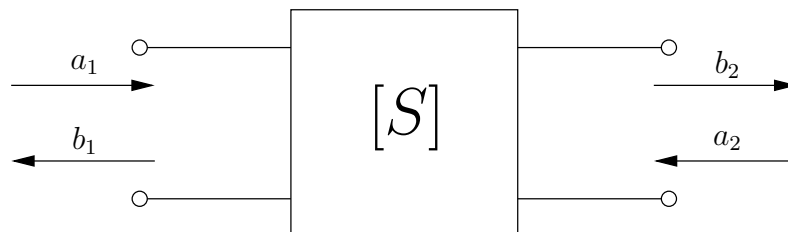


Abb. 2.1: Zweitor mit Leistungswellen

Zweitore enthalten innere Rauschquellen und geben auch im unbeschalteten Zustand Rauschleistung ab. Um die Eigenschaften eines Zweitores besser betrachten zu können, ersetzt man das rauschende Zweitor gegen ein rauschfreies Zweitor und beschaltet dieses ein- und ausgangsseitig mit Rauschquellen. Eine weitere Maßnahme zur Vereinfachung der Berechnung besteht darin, die ausgangsseitige Rauschquelle auch auf den Eingang des Zweitores zu verlegen. Somit ist es möglich ein rauschendes Zweitor als rauschfreies Zweitor mit vorgeschalteter Rauschquelle zu betrachten.

Die äußere Rauschquelle wird als angepasster thermisch rauschender Widerstand mit erhöhter Temperatur, welche nicht der realen Temperatur entspricht, beschrieben.

2.1.6 Rauschzahl

Liegt am Eingang eines Verstärker-Zweitores ein Signal mit Signalleistung S_E und Rauschleistung N_E an, dann werden beide Leistungen um den verfügbaren Gewinn G_{av} des Zweitores verstärkt und sind am Ausgang verfügbar: $G_{av}S_E = S_A$ und $G_{av}N_E = N_A$. Zusätzlich ist noch ein weiterer Rauschanteil N_{ZT} vorhanden, der vom Verstärker-Zweitor erzeugt wird. Die zusätzliche Rauschleistung kann unter der Annahme eines rauschfreien Zweitores auf den Eingang bezogen werden $N_{ZT,E} = N_{ZT}/G_{av}$. Am Ausgang des Zweitores ergibt sich folgende Leistungsbilanz:

$$S_A + N_A = G_{av}S_E + G_{av}N_E + N_{ZT} = G_{av}(S_E + N_E + N_{ZT,E}) \quad (2.6)$$

Die Signalleistung am Ausgang des Zweitores S_A beträgt dann

$$S_A = G_{av}S_E \quad (2.7)$$

und die Rauschleistung am Ausgang des Zweitores N_A ergibt sich zu

$$N_A = G_{av}N_E + N_{ZT} = G_{av}(N_E + N_{ZT,E}) \quad (2.8)$$

Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis SNR (englisch: Signal to NOISE Ratio) ist das Verhältnis von Signalleistung S zu Rauschleistung N .

$$SNR = \frac{S}{N} \quad (2.9)$$

S in W Signalleistung

N in W Rauschleistung

Das Signal-zu-Rauschverhältnis SNR wird oftmals logarithmisch angegeben:

$$SNR_{dB} = 10 \log \frac{S}{N} = 10 \log S - 10 \log N \quad (2.10)$$

Die Rauschzahl F (englisch: NOISE Factor) dient zur Beschreibung des Rauschens eines Zweitores. Sie ist der Faktor mit dem die Rauschleistung am Eingang eines rauschenden Zweitores multipliziert werden muss, um es durch ein rauschfreies Zweitor zu ersetzen.

$$F = \frac{N_A}{G_{av}N_E} = \frac{G_{av}N_E + N_{ZT}}{G_{av}N_E} \quad (2.11)$$

Die Ausgangsrauschleistung N_A eines Zweitores beträgt dann:

$$N_A = FG_{av}N_E \quad (2.12)$$

Die Rauschzahl wird als das Verhältnis des Signal-zu-Rausch-Verhältnis am Eingang des Zweitores zum Signal-zu-Rausch-Verhältnis am Ausgang des Zweitores definiert:

$$F = \frac{\left(\frac{S_E}{N_E}\right)}{\left(\frac{S_A}{N_A}\right)} \quad (2.13)$$

S_E in W Signalleistung am Eingang

N_E in W Rauschleistung am Eingang

S_A in W Signalleistung am Ausgang

N_A in W Rauschleistung am Ausgang

Auch die Rauschzahl kann logarithmisch angegeben werden.

$$F_{dB} = 10 \log \frac{\left(\frac{S_E}{N_E}\right)}{\left(\frac{S_A}{N_A}\right)} \quad (2.14)$$

$$F_{dB} = 10 \log \left(\frac{S_E}{N_E} \right) - 10 \log \left(\frac{S_A}{N_A} \right) \quad (2.15)$$

Ersetzt man die bekannte Rauschleistung am Eingang des Zweitores N_E durch

$$N_E = k_B T B \quad (2.16)$$

und die auf den Eingang bezogene Rauschleistung des Zweitores $N_{ZT,E} = N_{ZT}/G_{av}$ durch

$$N_{ZT,E} = k_B T_e B \quad (2.17)$$

mit der erhöhten Temperatur T_e , welche nicht der Umgebungstemperatur entspricht, sondern nur das Zweitorrauschen beschreibt, lässt sich die Rauschzahl folgendermaßen darstellen:

$$F = \frac{T + T_e}{T} \quad (2.18)$$

Werden rauschende Zweitore in Reihe geschaltet (Kettenschaltung), errechnet sich die Rauschzahl F beider Zweitore nach folgender Formel:

$$F = F_1 + \sum_{i=2}^n \frac{(F_i - 1)}{\prod_{k=1}^{i-1} G_k} = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \dots + \frac{(F_n - 1)}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (2.19)$$

Die Rauschzahl F_1 des ersten in Reihe geschalteten Zweitores bildet den größten Anteil der Gesamtrauschzahl F der Zweitore. Die Rauschzahlen F_i der nachfolgenden Zweitore werden durch die Gewinne G_i der vorhergehenden Zweitore dividiert.

Je nach Anordnung der Zweitore mit unterschiedlichem Gewinn G_i und Rauschzahl F_i erhält man unterschiedliche Rauschzahlen F der Gesamtanordnung. Um zwei Zweitore so hintereinander zu schalten, dass ihre Gesamtrauschzahl F minimal wird, bedient man sich des Rauschmaßes M :

$$M_1 = \frac{(F_1 - 1) T_0}{1 - 1/G_1} \leq \frac{(F_2 - 1) T_0}{1 - 1/G_2} = M_2 \quad (2.20)$$

Das Rauschmaß des ersten Zweitores M_1 muss kleiner oder höchstens gleich als das Rauschmaß des zweiten Zweitores M_2 sein.

2.1.7 Kreise konstanten Rauschens

Die Rauschzahl von Zweitoren ist abhängig vom Generatorreflektionsfaktor. Wählt man bei einer festen Frequenz verschiedene Generatorreflektionsfaktoren, erhält man verschiedene Rauschzahlen, welche sich als Kreise konstanten Rauschens in ein Smith-Diagramm einzeichnen lassen. Bild 2.2 zeigt ein Zweitor mit Reflektionsfaktoren der Quelle r_s und Verbraucher r_v .

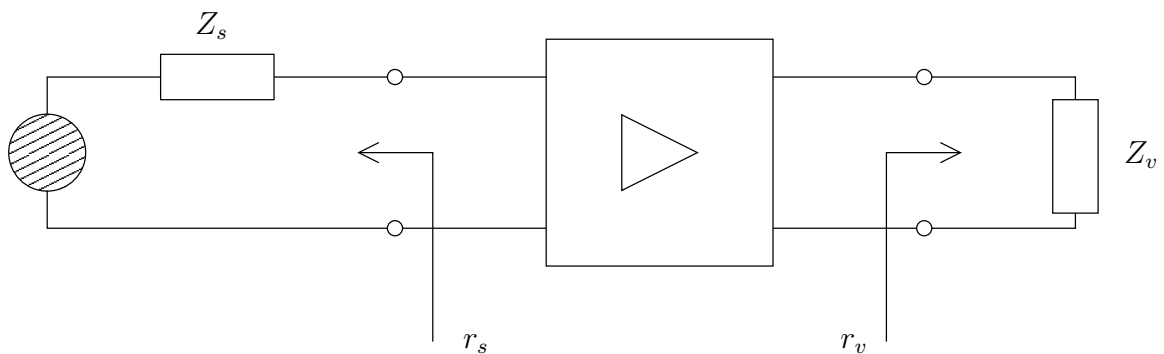


Abb. 2.2: Reflektionsfaktoren am Zweitor

Zur Berechnung der Rauschzahl in Abhängigkeit des Generatorreflektionsfaktors wird folgende Gleichung [Thu 99] herangezogen, welche eine implizite Kreisgleichung für r_s darstellt :

$$F(r_s) = F_{min} + \frac{4 \frac{R_n}{Z_0} |r_s - r_{opt}|^2}{(1 - |r_s|^2) |1 + r_{opt}|^2} \quad (2.21)$$

| | |
|-----------|---|
| F | Rauschzahl |
| F_{min} | minimale Rauschzahl |
| r_{opt} | optimaler Reflektionsfaktor |
| r_s | Generatorreflektionsfaktor |
| R_n | in Ω äquivalenter Rauschwiderstand |
| Z_0 | in Ω Bezugswiderstand (meist 50 Ω) |

Durch Umformung erhält man die explizite Form der Kreisgleichung für r_s :

$$\left| r_s - \frac{r_{opt}}{1 + N_F} \right|^2 = \frac{N_F^2 + N_F (1 - |r_{opt}|^2)}{(1 + N_F)^2} \quad (2.22)$$

wobei N_F als Rauschzahlparameter bezeichnet wird:

$$N_F = \frac{|r_s - r_{opt}|^2}{1 - |r_s|^2} = \frac{(F - F_{min})}{4 \frac{R_n}{Z_0}} |1 + r_{opt}|^2 \quad (2.23)$$

Die Werte für minimale Rauschzahl F_{min} , optimalen Reflektionsfaktor r_{opt} , äquivalenten Rauschwiderstand R_n und dessen Bezugswiderstand Z_0 sind als Rauschparameter bekannt bzw. werden vom Hersteller angegeben.

Der Mittelpunkt M_F eines Rauschkreises berechnet sich aus:

$$M_F = \frac{4 \frac{R_n}{Z_0} r_{opt}}{4 \frac{R_n}{Z_0} + (F - F_{min}) |1 + r_{opt}|^2} \quad (2.24)$$

Der Radius R_F eines Rauschkreises berechnet sich zu:

$$R_F = \frac{\sqrt{((F - F_{min}) |1 + r_{opt}|^2)^2 + 4 \frac{R_n}{Z_0} (F - F_{min}) |1 + r_{opt}|^2 (1 - |r_{opt}|^2)}}{4 \frac{R_n}{Z_0} + (F - F_{min}) |1 + r_{opt}|^2} \quad (2.25)$$

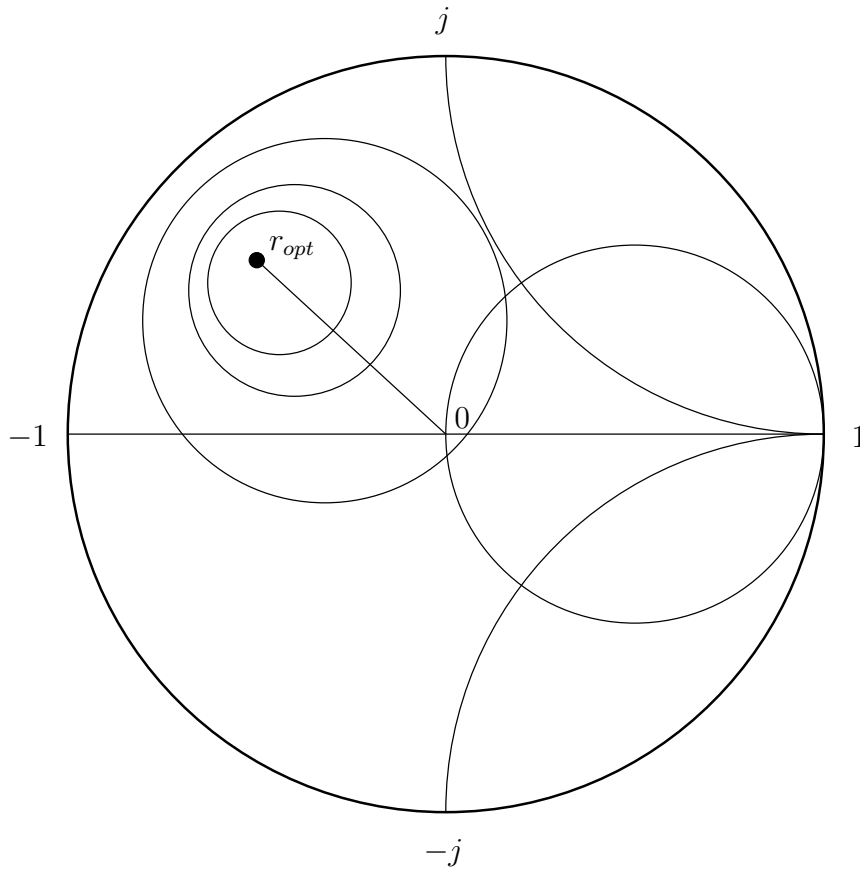
Ist die Rauschzahl F gleich der minimalen Rauschzahl F_{min} , entartet der Kreis zu einem Punkt und ist identisch mit dem optimalen Reflektionsfaktor r_{opt} . Die Mittelpunkte der Rauschkreise liegen auf der Verbindungsgeraden zwischen dem Ursprung des Smith-Diagramms und dem optimalen Reflektionsfaktor r_{opt} . Bild 2.3 zeigt ein Smithdiagramm in Widerstandsform mit Rauschkreisen in der r_s -Ebene.

2.2 Prinzip der Rauschzahlmessung

Zur Messung der Rauschzahl F eines Zweitorts wird dieses ausgangsseitig an ein Leistungsmessgerät angeschlossen. Eingangsseitig verwendet man zwei Rauschquellen mit unterschiedlichen Rauschtemperaturen, wobei eine Rauschtemperatur der Umgebungstemperatur T entspricht, und die andere Temperatur der erhöhten Rauschtemperatur T_e entspricht. Es werden zwei Messungen mit jeweils einer der beiden Rauschquellen durchgeführt. Die gemessenen Rauschleistungen N_1 und N_2 ergeben sich zu:

$$N_1 = k_B T B G_{av} + N_{ZT} \quad (2.26)$$

und

Abb. 2.3: Smithdiagramm in Widerstandsform mit Rauschkreisen in der r_s -Ebene

$$N_2 = k_B T_e B G_{av} + N_{ZT} \quad (2.27)$$

Durch Differenzbildung der beiden Rauschleistungen N_1 und N_2 erhält man:

$$N_2 - N_1 = (T_e - T) k_B B G_{av} \quad (2.28)$$

Wird die Gleichung umgeformt zu:

$$\frac{1}{k_B B G_{av}} = \frac{T_e - T}{N_2 - N_1} \quad (2.29)$$

und anschließend mit N_1/T multipliziert, erhält man unter Verwendung von Gl. (2.12) die Rauschzahl F :

$$F = \frac{N_1}{Tk_B B G_{av}} = \frac{T_e - T}{T} \frac{N_1}{N_2 - N_1} \quad (2.30)$$

Der Ausdruck $ENR \triangleq \frac{T_e - T}{T}$ definiert das Excess NOISE Ratio (ENR, Überschuss Rausch Verhältnis). Das ENR beschreibt die Rauschquelle, welche bei der Rauschzahlmessung zum Einsatz kommt und wird zur Kalibration des Rauschzahlmessgerätes verwendet.

2.3 Ein- und Doppelseitenbandmessung

Rauschzahlmessgeräte haben einen beschränkten Frequenzbereich. Um dennoch Rauschzahlmessungen bei höheren Frequenzen durchführen zu können, werden die zu messenden Signale mit Mischern auf die Zwischenfrequenz des Messgerätes umgesetzt. Ein idealer Mischer liefert aus zwei Eingangsfrequenzen die Differenz- und die Summenfrequenz (Zwischenfrequenzen). Im allgemeinen soll aber eine eindeutige Umsetzung erfolgen, d.h. die unerwünschte Spiegelfrequenz wird durch Filterung unterdrückt.

Dies geschieht bei einer Einseitenbandmessung durch Herausfiltern der unerwünschten Spiegelfrequenz: Die Rauschzahl wird bei einer Frequenz gemessen.

Bei der Zweiseitenbandmessung werden beide Frequenzen (radio frequency, RF) zur Messung verwendet, wodurch das Messergebnis verfälscht wird, da es aus dem Durchschnitt der Rauschzahlen der beiden Seitenbänder entsteht.

Der Zusammenhang der Rauschleistungen von Einseitenband- N_{SSB} und Zweiseitenbandmessung N_{DSB} stellt sich folgendermaßen dar:

$$N_{SSB} \approx N_{DSB} - 3 \text{ dB} \quad (2.31)$$

Die Rauschleistung der Einseitenbandmessung N_{SSB} ist in etwa gleich der halben Rauschleistung der Doppelseitenbandmessung N_{DSB} . Diese Näherung gilt immer nur dann, wenn die Eigenschaften des Messobjektes bei beiden Radiofrequenzen ungefähr gleich groß sind. Dies ist um so besser erfüllt je kleiner der Abstand der beiden Frequenzen im betrachteten Frequenzbereich ist. Bei großem Abstand der beiden Radiofrequenzen können sich die Amplituden der Rauschleistungen stark unterscheiden, da diese aufgrund der recht starken Frequenzabhängigkeit der verwendeten Bauelemente beeinflusst

werden. Hierbei vereinfacht sich der Einsatz von Filtern zur Vorselektion der gewünschten Radiofrequenz. Bild 2.4 zeigt das Prinzip der Einseitenbandmessung, bei welcher die Unterdrückung der Spiegelfrequenzen durch Vorselektion mittels Bandpassfilter realisiert ist.

Die Rauschzahlmessung des Mischers selbst ist daher von der externen Beschaltung, d. h. von der Wahl der verwendeten Frequenzen für das umzusetzende Signal, des Pumpsignals (LO) und der Zwischenfrequenz abhängig. Bei großem Abstand der Zwischenfrequenzen kann unter Zuhilfenahme eines entsprechenden Filters eine genaue Einseitenbandrauschkennmessung durchgeführt werden, ohne Filter kann die gemessene Rauschleistung mehr oder weniger genau durch Reduzierung um 3 dB angenähert werden. Bei kleinem Abstand der Zwischenfrequenzen ist die 3 dB-Korrektur genauer.

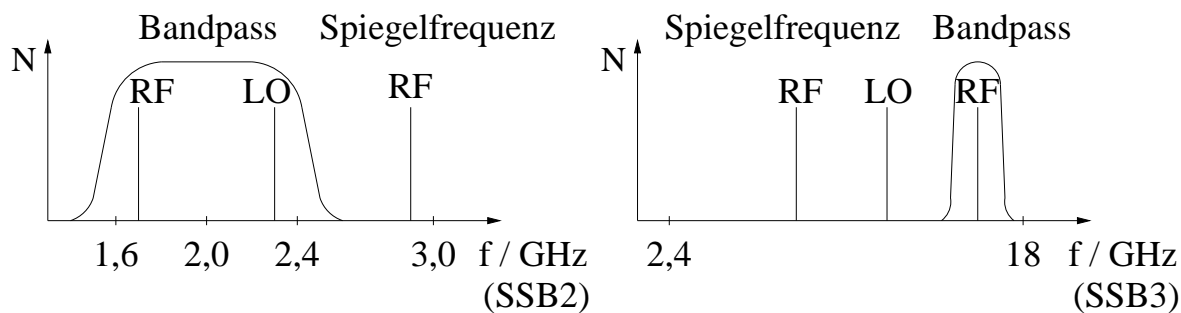


Abb. 2.4: Einseitenbandmessung

3 Vorbereitende Aufgaben

Die vorbereitenden Aufgaben sind vor Versuchsbeginn zu bearbeiten.

3.1 Aufgabe 1

Ein Signal mit einem Nutzsinalpegel von 23 dBm und einem Rauschpegel von 6 dBm soll über eine Leitung mit einer Dämpfung von 15 dB übertragen werden. Es steht ein Verstärker mit 18 dB Gewinn und einer Rauschzahl von 3 dB zur Verfügung um die Dämpfung der Leitung auszugleichen. Das Signal-zu-Rauschverhältnis am Ende der Anordnung aus Leitung und Verstärker darf 10 dB nicht unterschreiten.

Muss der Verstärker vor oder nach der Leitung eingeschaltet werden?

Begründen Sie Ihre Entscheidung rechnerisch! Hinweis: Bestimmen Sie die Rauschzahl der Leitung mit Dämpfung aus ohm'schen Verlusten unter der Annahme, dass sie die selbe Rauschtemperatur T_0 wie die Quelle aufweist.

3.2 Aufgabe 2

Der Hersteller eines GaAs-MESFET macht folgende Angaben zum Rauschverhalten seines Produktes:

Bei 2 GHz beträgt die minimale Rauschzahl $F_{min} = 0,4$ dB, der Betrag des optimalen Reflektionsfaktors $|r_{opt}| = 0,46$, das Argument des optimalen Reflektionsfaktors $\angle(r_{opt}) = 1,08$ und der äquivalente Rauschwiderstand $R_n/50\Omega = 0,24$.

Bei 18 GHz beträgt die minimale Rauschzahl $F_{min} = 3,87$ dB, der Betrag des optimalen Reflektionsfaktors $|r_{opt}| = 0,77$, das Argument des optimalen Reflektionsfaktors $\angle(r_{opt}) = 3,14$ und der äquivalente Rauschwiderstand $R_n/50\Omega = 0,06$.

Zeichnen Sie die Orte r_{opt} der minimalen Rauschzahlen F_{min} bei 2 GHz und 18 GHz in ein Smith-Diagramm ein.

Berechnen Sie die Mittelpunkte und Radien der Kreise konstanten Rauschens bei 2 GHz mit drei Werten für die Rauschzahl F : 0,6 dB, 1 dB und 1,4 dB und bei 18 GHz mit drei

Werten für die Rauschzahl F : 4,1 dB, 4,5 dB und 4,9 dB.

Zeichnen Sie die Kreise konstanten Rauschens in das Smith-Diagramm ein.

Auf welchem geometrischen Ort liegen die Mittelpunkte der Kreise konstanten Rauschens?

3.3 Aufgabe 3

Ein Mischer soll Signale mit einer Trägerfrequenz von 1600 MHz in eine Zwischenfrequenz von 500 MHz umsetzen. Welche Frequenz muss der Signalgenerator (LO) erzeugen, wenn der Mischer in Kehrlage betrieben werden soll?

3.4 Aufgabe 4

Bei der Zweiseitenband-Rauschzahlmessung werden beide durch den Mischvorgang erzeugten Seitenbänder verwendet. Warum ist der Abstand der beiden Seitenbänder bei der Zweiseitenbandmessung wesentlich kleiner gewählt als bei der Einseitenbandmessung?

4 Der Messplatz

Der Messplatz besteht aus dem Rauschzahlmesssystem HP 8970S NOISE FIGURE METER, der Rauschquelle HP 346C NOISE SOURCE und einem Oszilloskop PHILLIPS PM 3212 (Bild 5.1).

Die Rauschzahlmessungen werden mit dem Rauschzahlmesssystem HP 8970S durchgeführt.

4.1 Das Rauschzahlmesssystem HP 8970S

Das Rauschzahlmesssystem HP 8970S besteht aus drei Komponenten: dem Rauschzahlmessgerät HP 8970B NOISE FIGURE METER, dem Test Set HP 8971C NOISE FIGURE TEST SET und dem Signalgenerator HP 8340A SYNTHESIZED SWEEPER.

Zur Darstellung der Rauschzahl und des Gewinns als Messkurve wird das Oszilloskop PHILLIPS PM 3212 verwendet.

Die Rauschquelle HP 346C NOISE SOURCE liefert eine Rauschleistung, welche zur Vermessung der Zweitore und zur Kalibration des Rauschzahlmesssystems benötigt wird. Das Rauschzahlmessgerät HP 8970B versorgt die Rauschquelle HP 346C mit einem Rechtecksignal. Bei einem Amplitudenwert von 28 V liefert die Rauschquelle dann eine Rauschleistung mit erhöhter Temperatur T_e , bei 0 V eine Rauschleistung bei Umgebungstemperatur T . Die Rauschleistung wird dann an den Eingang des Messobjektes weitergeleitet. Vom Ausgang des Messobjektes wird die Rauschleistung dann zum Test Set HP 8971C übertragen und dann in das Rauschzahlmessgerät HP 8970B eingespeist. Das Rauschzahlmessgerät HP 8970B NOISE FIGURE METER kann Rauschzahlen und Gewinn im Frequenzbereich von 100 MHz bis 1600 MHz messen. Sollen Messungen der Rauschzahl und Gewinn in höheren Frequenzbereichen bis zu 26 GHz durchgeführt werden, kommen das Test Set HP 8971C NOISE FIGURE TEST SET und der Signalgenerator HP 8340A SYNTHESIZED SWEEPER zum Einsatz, welche die zu messende Rauschleistung in den vom Rauschzahlmessgerät HP 8970B NOISE FIGURE METER erfassbaren Frequenzbereich von 100 MHz bis 1600 MHz heruntermischen.

Das Test Set HP 8971C beinhaltet einen Mischer und Filter zur Vorselektion der Frequenzbereiche oberhalb 1600 MHz. Der Signalgenerator HP 8340A stellt die erforderlichen Frequenzen zur Abwärtsmischung der Frequenzbereiche auf eine feste Zwischenfrequenz bereit. Das Test Set HP 8971C wird in drei verschiedenen Frequenzbereichen vom Rauschzahlmessgerät HP 8970B angesteuert.

Bei der Messung der Rauschzahl F im Frequenzbereich von 10 MHz bis 1,6 GHz findet keine Abwärtsmischung statt, das Messsystem befindet sich im SSB1 (Single Side Band 1).

Bei Messungen im Frequenzbereich von 1,6 GHz bis 2,4 GHz wird genau dieser Bereich mittels eines Bandpassfilters herausgefiltert. Die zu vermessenden Frequenzpunkte werden dann auf eine feste Zwischenfrequenz von 700 MHz heruntergemischt, das Messsystem befindet sich dann im SSB2 (Single Side Band 2).

Im Frequenzbereich von 2,4 GHz bis 18 GHz wird jeweils der zu vermessende Frequenzpunkt von einem YIG-Filter herausgefiltert und dann auf eine feste Zwischenfrequenz von 450 MHz heruntergemischt, das Messsystem befindet sich dann im SSB3 (Single Side Band 3).

4.2 Anschließen der Geräte

Zunächst sind alle Geräte mit den dafür vorgesehenen Kabeln zu verbinden. Es ist hierbei darauf zu achten, dass die **Verschraubungen der SMA-Kabel** der Kabel nur mit Hilfe des am Messplatz befindlichen **Drehmomentschlüssels** angezogen bzw. gelöst werden, da es sonst zu irreparablen mechanischen Schäden an den Anschlüssen führen kann! Hierbei dreht sich nur die Überwurfmutter, nicht das Kabel, d.h. man muss ggf. mit einem geeigneten Schlüssel gegenhalten!

4.2.1 Oszilloskop PHILLIPS und Rauschzahlmessgerät HP 8970B

Die linke BNC Buchse A des Oszilloskops PHILLIPS PM 3212 wird mit dem BNC Koaxialkabel (XA) mit der Buchse X-Axis auf der Rückseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B verbunden.

Die mittlere BNC Buchse B des Oszilloskops PHILLIPS PM 3212 wird mit dem BNC Koaxialkabel (YB) mit der Buchse Y-Axis auf der Rückseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B verbunden.

Die rechte BNC Buchse des Oszilloskops PHILLIPS PM 3212 wird mit einem BNC Koaxialkabel (ZA) mit der Buchse Z-Axis auf der Rückseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B verbunden.

Der X-Ausgang gibt die Frequenzachse, der Y-Ausgang die Rauschzahl und den Gewinn auf dem Oszilloskop PHILLIPS aus.

4.2.2 Rauschzahlmessgerät HP 8970B und Test-Set HP 8971C

Die Buchse INPUT auf der Vorderseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B wird mit der Buchse IF OUTPUT des Test-Sets HP8971C, ebenfalls auf der Vorderseite befindlich, durch das Koaxialkabel verbunden, welches mit IF bezeichnet ist.

Die SIB Buchse auf der Rückseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B wird mittels eines SIB-Kabels, bezeichnet mit SIB, mit der SIB Buchse auf der Rückseite des Test-Sets HP 8971C verbunden.

4.2.3 Test-Set HP 8971C und Signalgenerator HP 8340A

Die Buchse LO INPUT auf der Vorderseite des Test-Sets HP 8971C wird mit der Buchse OUTPUT der Signalquelle HP 8340A, auf der Rückseite befindlich, durch das Koaxialkabel, welches mit LO bezeichnet ist, verbunden.

Die SIB Buchse auf der Rückseite des Test-Sets HP 8971C wird mittels eines SIB-Kabels, bezeichnet mit SIB, mit der SIB Buchse auf der Rückseite des Generator HP 8340A verbunden.



4.2.4 Rauschzahlmessgerät HP 8970B und Rauschquelle HP 346C

Die BNC-Buchse NOISE SOURCE DRIVE OUTPUT auf der Vorderseite des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B ist unter Verwendung des BNC-Koaxialkabels, welches mit NS bezeichnet ist, mit der BNC-Eingangsbuchse der Rauschquelle HP 346B zu verbinden.

Der Ausgang der Rauschquelle HP 346B ist mit dem Koaxialkabel, Bezeichnung RF, zu verbinden. Das Ende des Kabels, bezeichnet mit RF, ist dem Kabel MX mit der auf der Vorderseite des Test-Sets HP 8971C befindlichen Buchse RF INPUT zu verbinden. Zwischen den beiden Kabeln RF und MX werden nach der Kalibration die Messobjekte eingeschaltet.

Werden aktive Zweitore vermessen muss zwischen Rauschquelle HP 346B und Rauschzahlmessgerät HP 8970B ein 3 dB Dämpfungsglied, z.B. SUHNER 6603.19AA ATTENUATOR eingefügt werden. Dieses Dämpfungsglied dient dem Schutz des Rauschzahlmessgerätes. Die Spannungsversorgung für die aktiven Zweipole liefert ein Netzteil. Die aktiven Zweipole werden mit einem roten (Pluspol) und einem schwarzen Kabel (Minuspol) an das Netzteil angeschlossen. Dabei ist darauf zu achten, dass das Netzteil vor Anschluss der aktiven Zweipole eingeschaltet ist und dass die Farben der Buchsen an den aktiven Zweipolen und dem Netzteil mit den Farben der Kabel übereinstimmen, da es sonst durch Verpolung zu Schäden an den aktiven Zweitoren kommen kann.

4.3 Einschalten und Voreinstellungen

Zunächst werden alle Geräte des Rauschzahlmesssystem HP 8970S in folgender Reihenfolge eingeschaltet: Das Rauschzahlmessgerät HP 8970B und das Test-Set HP 8971C jeweils mit dem  Schalter und der synthetisierte Oszillator HP 8671B mit dem  Schalter.

Die Bedienung des Rauschzahlmesssystems HP 8970S wird nur am Rauschzahlmessgerät HP 8970B durchgeführt, d.h. an der LO-Quelle HP 8340A und am Test-Set HP 8971C müssen keine Einstellungen vorgenommen werden, da beide Geräte über den SIB-Bus vom Rauschzahlmessgerät HP 8970B angesteuert werden.

Alle LED-Anzeigen der HP-Geräte leuchten während des Selbsttests für ein paar Sekunden auf. Es erscheinen dann auf der mittleren und der rechten Anzeige nacheinander folgende Ausgaben: Ctrl und on, danach Fr und CAL. Auf der linken Anzeige kann man schließlich 5000 MHz und auf der rechten Anzeige E 28 ablesen. 5000 MHz zeigt die Anwesenheit des Test-Sets HP 8971C an, welches sich bei 5000 MHz im Modus SSB3 befindet, und E 28 weist darauf hin, dass der in diesem Frequenzbereich verwendete YIG-Filter kalibriert werden muss. Diese YIG-Filter Kalibration wird später bei der Kalibrierung automatisch durchgeführt.

Das Oszilloskop PHILLIPS PM 3212 wird mit dem Schalter, welcher mit ILLUM bezeichnet ist, eingeschaltet und auf X-Y Betrieb eingestellt.

Die Eingangskopplung ist auf DC für beide Kanäle einzustellen.

Durch Eingabe von



auf dem Tastenblock des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B (mit DATA bezeichnet) wird vom Frequenzmessgerät HP 8970B ein Testbild zum Oszilloskop PHILLIPS PM 3212 gesendet.

Das Testbild auf dem Oszilloskop PHILLIPS PM 3212 ist so einzustellen, dass die äußeren Linien des Testbildes die Ränder des Schirmgitters berühren. Bild 4.1 zeigt das Testbild.

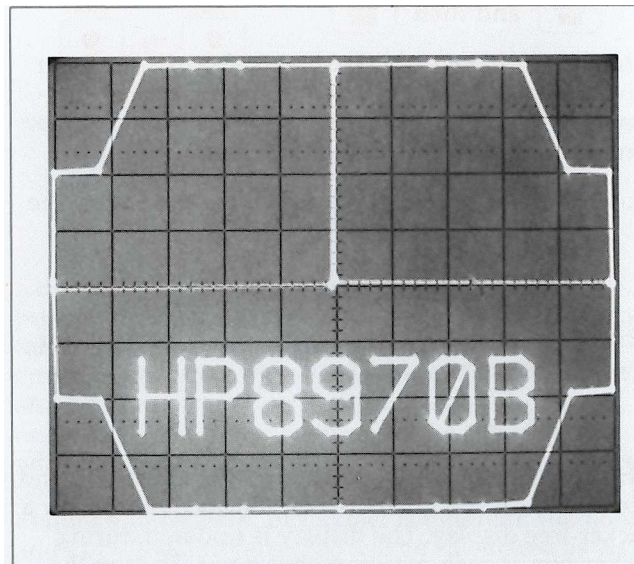
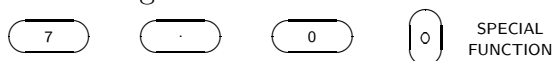


Abb. 4.1: Testbild

Durch Eingabe von



wird das Testbild wieder abgeschaltet.

Mit den Tasten **GAIN MAX** und **GAIN MIN** können die Werte für maximalen bzw. minimalen Gewinn, mit den Tasten **NOISE MAX** und **NOISE MIN** können die Werte für maximale bzw. minimale Rauschzahl für die Anzeige auf dem Oszilloskop eingestellt werden.

4.3.1 ENR

ENR ist die Abkürzung von Excess Noise Ratio und bedeutet soviel wie „Überschuss Rausch Verhältnis“. Für die Rauschquelle HP 346C existieren Kalibrations-Werte, welche dem Rauschzahlmessgerät HP 8970B bekannt sein müssen um korrekte Messungen durchführen zu können. Diese sogenannten ENR-Werte müssen vor der Messung kontrolliert werden. Eine Liste der ENR-Werte befindet sich auf dem Gehäuse der Rauschquelle

HP 346C. Zur Überprüfung bzw. Eingabe der Kalibrationswerte der Rauschquelle HP 346C wird die Taste **ENR** gedrückt. Die linke Anzeige des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B zeigt die Frequenz an, die mittlere Anzeige den ENR-Wert und auf der rechten Anzeige erscheint die Nummer des Speichers, in welchem die Werte abgelegt sind und die laufende Nummer des ENR-Wertes. Bei Aufruf dieser Funktion wird die Speichernummer 0 angezeigt, d. h. es handelt sich hier um den Arbeitsspeicher. Bei der Eingabe oder Korrektur der ENR-Werte tippt man die Ziffern mittels des Numerischen Tastenblocks auf dem HP 8970B ein und bestätigt diese durch Drücken der **ENTER** Taste. Hiernach springt der HP 8970B zum nächsten ENR-Wert. Der Vorgang wird solange wiederholt bis alle ENR-Werte durchlaufen sind. Wurde ein falscher Wert vor Drücken der **ENTER** Taste eingegeben, kann durch Betätigen der **NOISE FIGURE** Taste und anschließender Neueingabe des Wertes korrigiert werden. Danach die **ENTER** Taste drücken. Sind alle ENR-Werte durchlaufen, wird die **FREQUENCY** Taste betätigt um den Eingabe-Modus zu verlassen. Zur Speicherung der ENR-Werte in den ersten Permanentspeicher des HP 8970B folgende Tasten betätigen:

STORE **ENR** **1**

Sollen die Werte in den zweiten, dritten oder vierten Permanentspeicher abgelegt werden, so gibt man anstelle der 1 einfach 2, 3 oder 4 ein.

4.3.2 Kalibration des Rauschzahlmesssystems

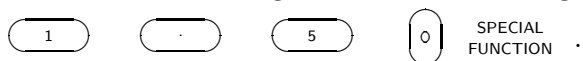
Zunächst wird die **PRESET** Taste gedrückt um das Rauschzahlmesssystem HP 8970S in einen definierten Grundzustand zu bringen, da ansonsten zu viele Einstellungen von Hand durchgeführt werden müssten. Danach sollte die linke Anzeige die Standardmessfrequenz von 30 MHz anzeigen.

Die mit **UNCORRECTED** bezeichnete LED zeigt an, dass die Rauschzahlmessung nicht kalibriert ist. Die rechte Anzeige sollte eine Rauschzahl von ca. 13 dB anzeigen.

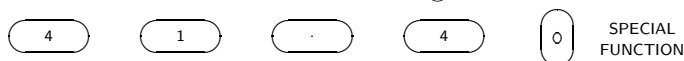
Mit den Tasten **DECREASE** und **INCREASE** können die Anzahl der Messungen über die gemittelt wird vermindert oder erhöht werden (Smoothing). Es muss für Kalibration und Messung die selbe Anzahl von Punkten verwendet werden. Von den Messungen in einem Frequenzpunkt wird der Durchschnitt ermittelt und dann angezeigt. Bei Mittelung über viele Messungen werden die Messwerte genauer, die Messung dauert aber länger. Bei wenigen Messungen sind die Messwerte ungenauer, die Anzeige der Werte springt, aber die Messzeit verkürzt sich. Vor der Kalibration bzw. der Eingabe von

Start-, Stopfrequenz und Schrittweite ist deshalb eine geeignete Einstellung zu wählen. Für den Versuchsablauf wird eine Mittelung über 16 Messungen eingestellt. Dies ist nach einem etwaigen Drücken der **PRESET** Taste wieder einzustellen.

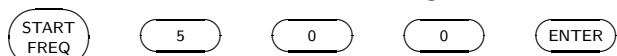
Um eine Einseitenband Messung von Zweitoren durchzuführen wird auf dem Tastenblock des Rauschzahlmessgerätes HP 8970B folgendes eingetippt:



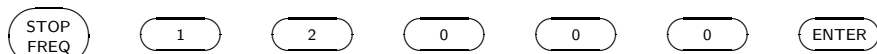
Nun muss dem Rauschzahlmessgerät HP 8970B durch Eingabe von:



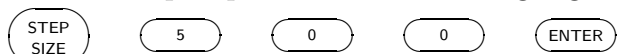
noch mitgeteilt werden, dass es sich bei dem verwendeten Oszillator um den HP 8340A handelt. Bevor kalibriert wird, muss der Frequenzbereich und die Schrittweite festgelegt werden, d.h. es werden genau die Messpunkte kalibriert bei welchen eine Rauschzahlmessung erfolgen soll. In allen anderen Frequenzbereichen ist dann keine Messung möglich. Währenddessen erscheinen auf der linken Anzeige die jeweils eingegebenen Werte, auf der rechten Anzeige die dazugehörenden, noch unkalibrierten Rauschzahlwerte bzw. die Fehlermeldung E 28, welche darauf hinweist, dass das YIG-Filter in diesem Bereich noch nicht kalibriert ist. Mit der Eingabe von



wird die Startfrequenz bei 500 MHz, mit



wird die Stopfrequenz bei 12 GHz festgelegt. Die Eingabe von



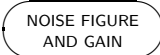
legt den Abstand der Messpunkte fest (500 MHz).

Die hier genannten Werte für die Startfrequenz (500 MHz), die Stopfrequenz (12 GHz) und der Abstand der Messpunkte (500 MHz) sind nur Beispielwerte. Die jeweils relevanten Werte sind der Versuchsdurchführung zu entnehmen.

Durch zweimaliges Drücken der **CALIBRATE** Taste wird die Messanordnung kalibriert. Nach dem ersten Betätigen der **CALIBRATE** Taste erscheint in der mittleren und rechten Anzeige PUSH und CAL, nach dem zweiten Betätigen erscheint Fr und CAL. Jetzt wird die Kalibration des YIG-Filters gestartet. Im weiteren Verlauf erscheinen auf der linken Anzeige die zu vermessenden Frequenzen, von 2500 MHz bis 12000 MHz. Auf der mittleren und rechten Anzeige kann man bei jeder Frequenz 8971 und CAL ablesen. Ist hinter der Anzeige CAL ein blinkender Dezimalpunkt zu sehen, so wird die Temperaturkompensation des YIG-Filters zurückgesetzt. Es vergehen dann ca. 5 bis 15 min

bis die Temperatur des YIG-Filters stabilisiert ist und die Kalibration beginnt. Ist die YIG-Filter Kalibration abgeschlossen, wird das gesamte Messsystem kalibriert. Dabei erscheinen auf der linken Anzeige die zu vermessenden Frequenzen und auf der rechten Anzeige die zugehörigen Rauschzahlen. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt. Kann man nach dem dritten Durchlauf auf der rechten Anzeige E 27 ablesen, heißt das nur, dass ein oder wenige Messpunkte nicht kalibriert wurden, die Kalibration der restlichen Messpunkte ist aber in Ordnung. Sollte die Meldung E 27 während der Vermessung der Testobjekte auftreten, muss neu kalibriert werden. Die einzelnen Testobjekte können jetzt in dem kalibrierten Messbereich vermessen werden. Sollen andere Frequenzbereiche vermessen werden, muss eine Neukalibration mit den entsprechenden Werten erfolgen.

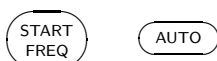
4.4 Vermessung der Zweitore

Die Zweitore werden bei laufendem Betrieb des Messsystems zwischen Rauschquelle HP 346C und Test-Set HP 8971C eingebaut: Zunächst wird das RF Kabel vom Ausgang der Rauschquelle gelöst. Dann wird der Eingang des Zweitors mit dem Ausgang der Rauschquelle HP 346C durch das MS Kabel verbunden. Wird ein Verstärkermodul vermessen, muss ein 3 dB Dämpfungsglied zwischen den Ausgang des Verstärkermoduls und das RF Kabel eingeschaltet werden. Werden zwei Verstärkermodule hintereinander geschaltet, ist darauf zu achten, dass das 3 dB Dämpfungsglied mit dem Ausgang des letzten Verstärkers verbunden wird! Je nach Bauart der verschiedenen Zweitore werden zur Verbindung mit den Kabeln noch Doppelweibchen bzw. Doppelmännchen benötigt, die am Messplatz vorhanden sind. Durch Drücken der  Taste wird die korrigierte Messung eingeleitet und es kann nun ausgewählt werden wie die Messung im gewählten Frequenzbereich ablaufen soll:

- einmaliger Durchlauf durch Drücken der Tasten



- sich immer wiederholender Durchlauf durch Drücken der Tasten



- einzelne Frequenzpunkte durch Drücken der Tasten



- zur freien Navigation innerhalb des Frequenzbereichs mittels der Tasten **UP** und **DN** (Zuvor muss durch Drücken der Tasten **FREQ INCR** und der bei der Kalibration verwendete Wert für den Abstand der Messpunkte eingegeben werden und durch **ENTER** bestätigt werden.)

Bild 4.2 zeigt beispielhaft den Verlauf von Rauschzahl und Gewinn eines Verstärkers im Frequenzbereich von 110 MHz und 136 MHz.

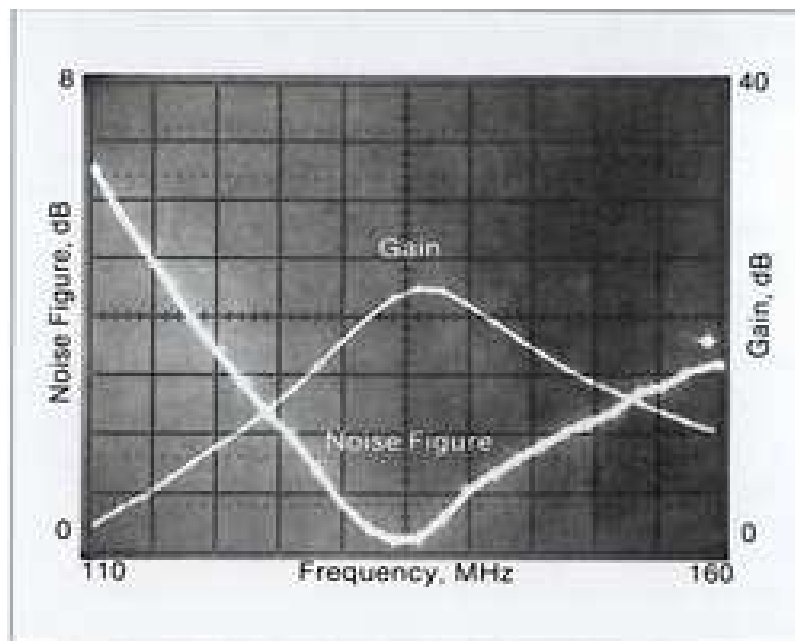


Abb. 4.2: Rauschzahl und Gewinn eines Verstärkers

4.5 Fehlermeldungen des Rauschzahlmessgerätes

Das Rauschzahlmessgerät HP 8970B gibt bei falscher Bedienung oder Tippfehlern in der rechten Anzeige Fehlermeldungen aus. Diese beginnen mit einem E gefolgt von zwei Ziffern. Nachfolgend sind die am häufigsten auftretenden Fehlermeldungen und deren Behebung aufgelistet:

- E12: Eingangsleistung zu hoch
 - Die am Eingang des Rauschzahlmessgerätes anliegende Leistung ist zu hoch.

- Abhilfe schafft hierbei nur die Reduzierung der Eingangsleistung z.B. durch ein Dämpfungsglied.
- E19: Hardware-Fehler während der Kalibration
 - Die Rauschleistung während der Kalibration ist in bestimmten Frequenzpunkten zu hoch. Alle Kabelverbindungen prüfen. Insbesondere LO-Anschluss an LO-Generator und Test-Set prüfen.
- E22: Verwendetes Dämpfungsglied (intern) ist nicht kalibriert

- Bei der Kalibration werden verschiedene Dämpfungsglieder, welche fest im Rauschzahlmessgerät eingebaut sind, verwendet. Dabei wird bei jedem der drei Kalibrationsdurchgänge auf einen anderen Gewinn kalibriert. Standardmäßig werden beim dreimaligen Kalibrationsdurchlauf 20 dB, 10 dB und 0 dB Gewinn verwendet. Dies kann auch durch Eingabe von

SPECIAL FUNCTION oder eingestellt werden.

- Tritt diese Fehlermeldung während der Messung auf, muss mit anderen Gewinnwerten neu kalibriert werden. Mit den folgenden Eingaben können andere Gewinne gewählt werden:

SPECIAL FUNCTION :

10 dB, 0 dB und –10 dB Gewinn

















SPECIAL FUNCTION :

0 dB, –10 dB und –20 dB Gewinn

SPECIAL FUNCTION :

–10 dB, –20 dB und –30 dB Gewinn

- E27: Überlauf während der Kalibration
 - Die Rauschleistung während der Kalibration ist in bestimmten Frequenzpunkten zu hoch. Das Messergebnis kann in diesen Frequenzpunkten verfälscht sein. Die Kalibration in den restlichen Frequenzpunkten ist aber dennoch in Ordnung.
 - Tritt dieser Fehler während der Messung von Bauteilen oder Komponenten weiterhin auf, ist die Rauschleistung zu hoch und muss reduziert werden oder es ist eine Neukalibration erforderlich.

- E28: HP 8971C benötigt fein abgestimmte Kalibration
 - Der YIG-Filter des Test Sets HP 8971C ist nicht kalibriert. Diese Fehlermeldung kann zwei verschiedene Ursachen haben.
 - Entweder wurde bei der Kalibration nach drücken der  Taste die Kalibration des YIG-Filters durch Eingabe von      SPECIAL FUNCTION abgeschaltet. Durch Eingabe von      SPECIAL FUNCTION wird die Kalibration des YIG-Filters wieder eingeschaltet,
 - oder es war eine erneute Neukalibration des Messsystems erforderlich, weil andere Frequenzpunkte vermessen werden sollten. In diesem Fall muss die Kalibration des YIG-Filters durch Eingabe von      SPECIAL FUNCTION abgeschaltet werden.

5 Versuchsdurchführung

Im Folgenden sind die einzelnen Schritte des Versuchs aufgeführt. Zur Bearbeitung des Versuchs werden Schreibzeug, Papier, Lineal und ein Taschenrechner benötigt.

Bild 5.1 zeigt den Messplatz bei der Vermessung der Kettenschaltung von LNA und MPA. Auf dem Oszilloskop erkennt man die Messkurven von Rauschzahl und Gewinn, auf dem Rauschzahlmessgerät kann man einen Gewinn G von 11,58 dB und eine Rauschzahl F von 9,25 dB bei 4900 MHz ablesen.

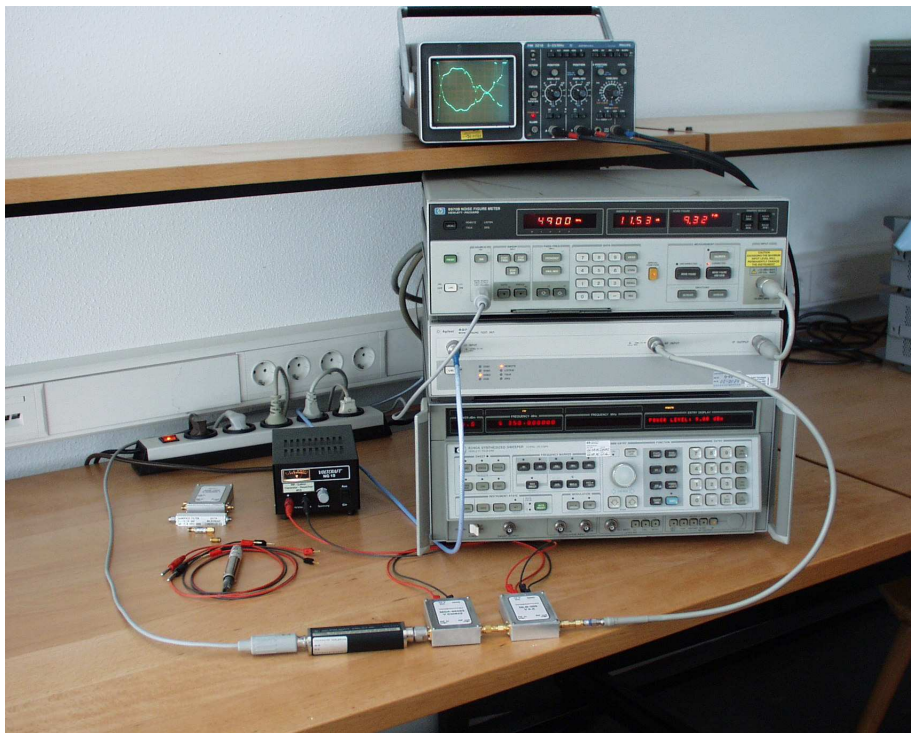


Abb. 5.1: Rauschzahlmessplatz im Betrieb

5.1 Filter

Kalibrieren Sie das Messsystem im Bereich von 10 GHz bis 10,5 GHz bei einer Schrittweite von 20 MHz. Stellen Sie die Anzahl der Meßpunkte für die Mittelung (Smoothing) auf 16 ein. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: **NOISE MAX** = 20 dB, **NOISE MIN** = 0 dB, **GAIN MAX** = 0 dB und **GAIN Min** = -20 dB. Schließen Sie danach den Filter an Rauschquelle und Test Set an und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn. Lesen Sie die gemessenen Werte ab und tragen Sie diese in ein Diagramm ein.

Ermitteln Sie aus dem Diagramm beide 3 dB Eckfrequenzen. Überprüfen Sie anhand des Diagramms die Mittenfrequenz. Wie groß ist die Welligkeit der Transmission (Maximalwert in dB - Minimalwert in dB) im Frequenzbereich 10,2 GHz bis 10,3 GHz?

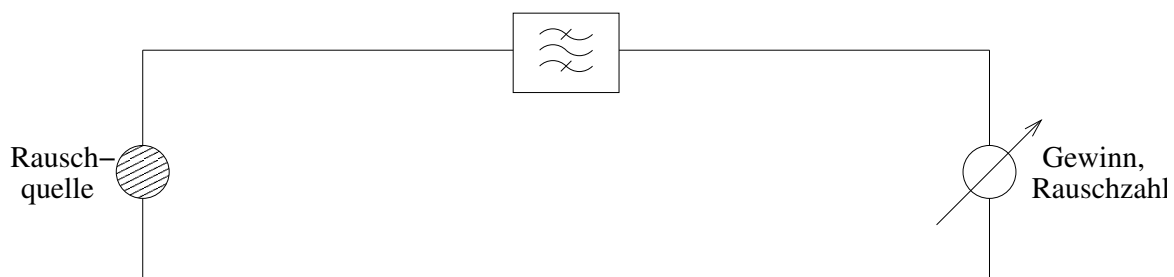


Abb. 5.2: Filter

5.2 Dämpfungsglied (-10 dB)

Kalibrieren Sie das Messsystem im Bereich von 200 MHz bis 6 GHz bei einer Schrittweite von 200 MHz. Stellen Sie ein Smoothing von 16 ein. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: **NOISE MAX** = 15 dB, **NOISE MIN** = 5 dB, **GAIN MAX** = 5 dB und **GAIN Min** = -15 dB. Schließen Sie danach das Dämpfungsglied HP 8493C an Rauschquelle und Test Set an und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn. Was fällt auf? Haben Sie eine Erklärung hierfür?

5.3 Rauscharmer Verstärker (LNA)

Kalibrieren Sie das Messsystem mit -10 dB Dämpfungsglied im Bereich von 200 MHz bis 6 GHz bei einer Schrittweite von 200 MHz. Das Dämpfungsglied dient dem Schutz des Rauschzahlmessgerätes und wird durch die Kalibration Bestandteil des Messsystems.

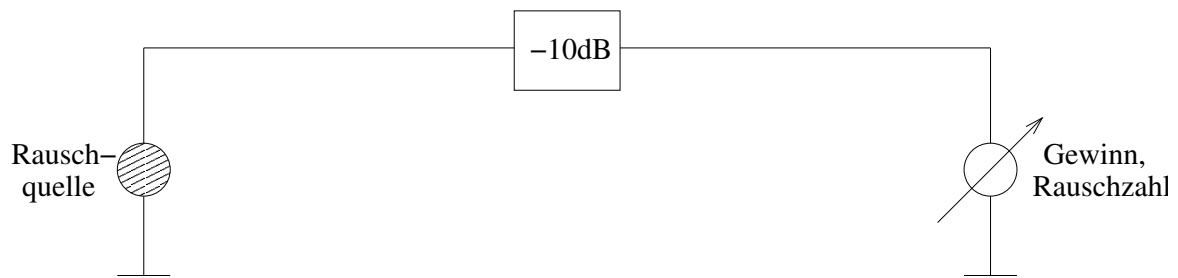


Abb. 5.3: Dämpfungsglied (-10 dB)

Stellen Sie ein Smoothing von 16 ein. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: NOISE MAX = 25 dB, NOISE MIN = -5 dB, GAIN MAX = 30 dB und GAIN Min = 0 dB. Schließen Sie danach den rauscharmen Verstärker MGA-86563 an das Messsystem an und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn. Zeichnen Sie den Frequenzgang von Rauschzahl und Gewinn. Bei welchen Frequenzen hat der Verstärker den maximalen Gewinn bzw. die minimale Rauschzahl?

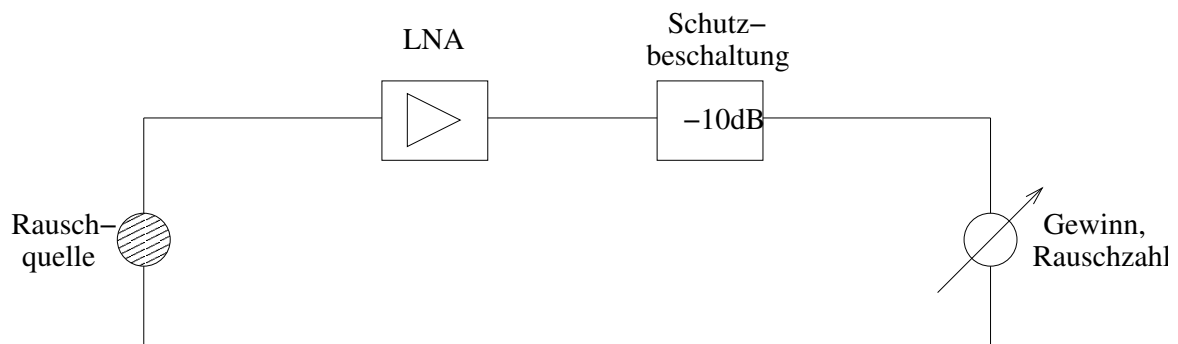


Abb. 5.4: Rauscharmer Verstärker (LNA)

5.4 Verstärker für mittlere Leistungen (MPA)

Schließen Sie den Verstärker für mittlere Leistungen NLB-300 an Rauschquelle und -10 dB Dämpfungsglied an und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn des Verstärkers. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: NOISE MAX = 15 dB, NOISE MIN = -5 dB, GAIN MAX = 15 dB und GAIN Min = -5 dB. Lesen Sie die gemessenen Werte ab und tragen Sie diese in ein Diagramm ein. Bei welchen Frequenzen hat der Verstärker den maximalen Gewinn bzw. die minimale Rauschzahl? In welchem Frequenzbereich

würden Sie den Verstärker betreiben wenn a) eine Rauschzahl besser 6 dB und b) eine Schwankung des Gewinns um weniger als 1dB in diesem Bereich gefordert wird?

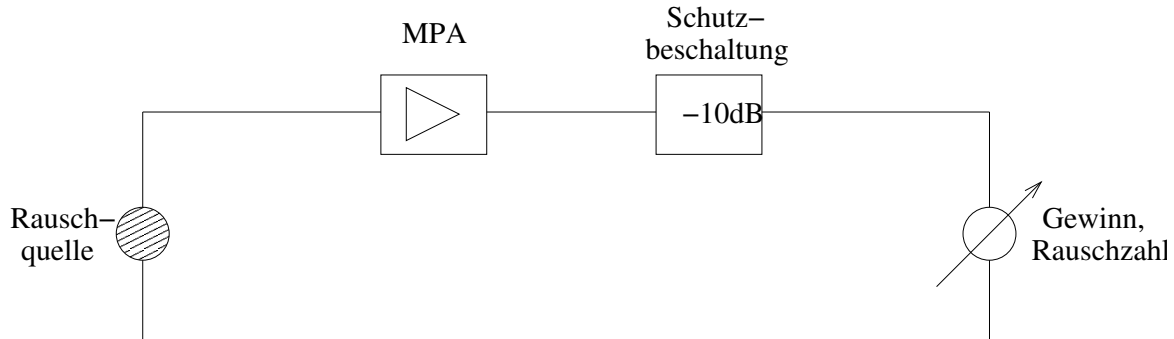


Abb. 5.5: Verstärker für mittlere Leistungen (MPA)

5.5 LNA mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied (-10 dB)

Schließen Sie den rauscharmen Verstärker MGA-86563 mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied HP 8493C (-10 dB) an Rauschquelle und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn der Kettenschaltung (im Frequenzbereich 200 MHz bis 6 GHz mit einer Schrittweite von 200 MHz. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: NOISE MAX = 25 dB, NOISE MIN = -5 dB, GAIN MAX = 20 dB und GAIN Min = -10 dB. Skizzieren Sie das Messergebnis (Hier ist eine Freihandskizze des Kurvenverlaufs ausreichend). Vergleichen Sie die Messung mit einer Berechnung von Rauschzahl und Gewinn aus den Messungen der einzelnen Komponenten für die Frequenzen 1 GHz, 2 GHz, 3 GHz, 4 GHz, 5 GHz und 6 GHz. Welche Änderungen würden sich für Rauschzahl und Gewinn ergeben, falls Sie die Reihenfolge von Verstärker und Dämpfungsglied vertauschen würden (für die ausgewählten Frequenzen)?

5.6 LNA mit nachgeschaltetem MPA

Kalibrieren Sie das Messsystem mit -10 dB Dämpfungsglied im Bereich von 200 MHz bis 6 GHz bei einer Schrittweite von 200 MHz. Das Dämpfungsglied dient dem Schutz des Rauschzahlmessgerätes und wird somit Bestandteil des Messsystems. Stellen Sie ein Smoothing von 16 ein. Berechnen Sie Gewinn und Rauschzahl der Reihenschaltung aus LNA und MPA aus den Messergebnissen der vorangegangenen Messungen und tragen

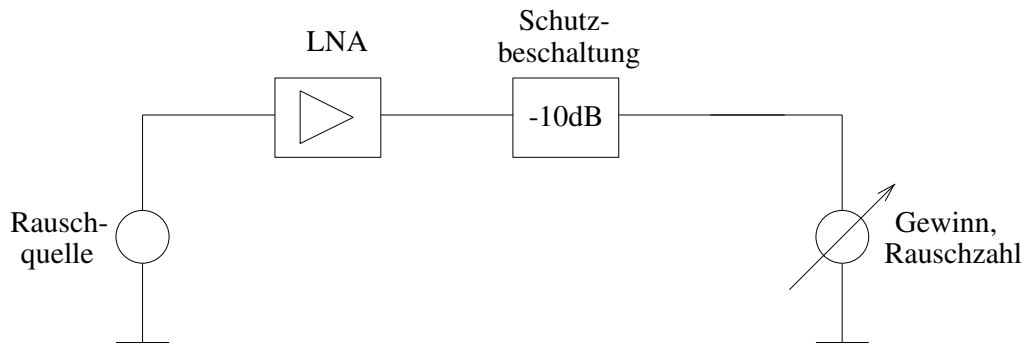


Abb. 5.6: LNA mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied (-10 dB)

Sie die errechneten Werte in ein Diagramm ein. Schließen Sie den LNA MGA-86563 gefolgt vom MPA NLB-300 an Rauschquelle und -10 dB Dämpfungsglied an und messen Sie die Rauschzahl und den Gewinn. Für die Anzeige auf dem Oszilloskop wählen Sie: NOISE MAX = 30 dB, NOISE MIN = 0 dB, GAIN MAX = 40 dB und GAIN Min = 10 dB. Lesen Sie die gemessenen Werte ab und tragen Sie diese in das Diagramm mit den vorausgerechneten Werten ein. Vergleichen Sie Messung und Rechnung!

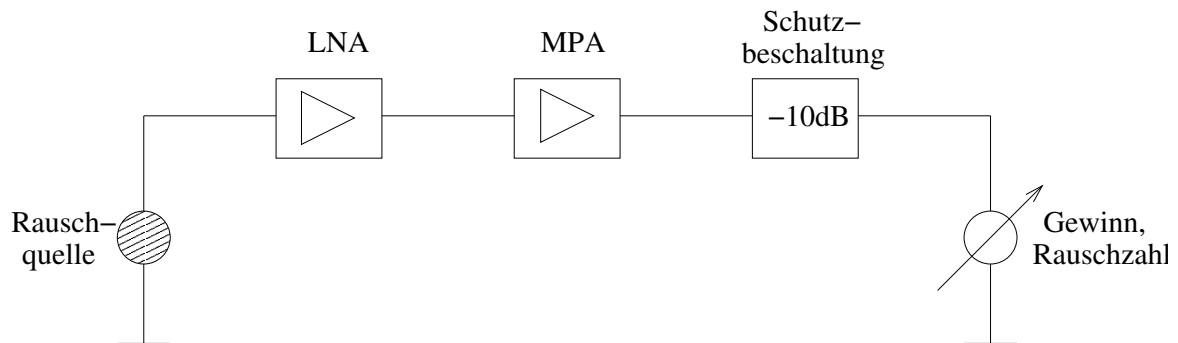


Abb. 5.7: LNA mit nachgeschaltetem MPA

A Geräte- und Teileliste

- HP 8970B NOISE FIGURE METER
 - Rauschzahlmessgerät
max. Eingangsleistung 13 dBm
- HP 8971C NOISE FIGURE TEST SET
 - Test Set mit Mischer, Bandpassfilter und YIG-Filter
max. RF - Eingangsleistung -5 dBm
max. LO - Eingangsleistung 20 dBm
- HP 8340A SYNTHESIZED SWEEPER
 - Signalgenerator (Oszillator), notwendig zur Abwärtsmischung
Wird vom Test Set benötigt
- HP 346C NOISE SOURCE
 - Stellt Rauschleistung zur Verfügung
Ausgangsleistung -56 ± 4 dBm
- PHILLIPS PM 3212
 - Oszilloskop zur grafischen Darstellung von Rauschzahl und Gewinn
- SUHNER 6603.19AA ATTENUATOR
 - 3 dB Dämpfungsglied zum Schutz des Rauschzahlmessgerätes
Frequenzbereich DC - 18 GHz
Dämpfung 3 dB

- HP 8493C ATTENUATOR
 - 10 dB Dämpfungsglied zur Vermessung
und zum Schutz des Rauschzahlmessgerätes
Frequenzbereich DC - 26,5 GHz
Dämpfung 10 dB
- Filter
 - Bandpass Filter zur Vermessung
 F_0 : 10,24 GHz
- Netzteil
 - DC Versorgung der aktiven Module
- NLB-300 V 6.0
 - Verstärkermodul zur Vermessung
- MGA-86563 V 030822
 - Verstärkermodul zur Vermessung
- XA, YA, ZA und NS
 - BNC Koaxialkabel
- IF
 - ein ca. 15 cm langes Koaxialkabel zur Verbindung des HP 8970B mit dem HP 8971C
- SIB
 - zwei System Interface Bus Kabel
- LO, RF und MS
 - drei Koaxialkabel

- Kabel, rot und schwarz
 - Für die Spannungsversorgung der aktiven Zweitore
- Adapter
 - ein Doppelweibchen und zwei Doppelmännchen
- Werkzeuge
 - ein Drehmomentschlüssel und zwei Gabelschlüssel

Literaturverzeichnis

- [WB 99] Wiesbeck, W.: *Grundlagen der Hochfrequenztechnik*, Skriptum zur Vorlesung Grundlagen der Hochfrequenztechnik, Universität Karlsruhe, 1999
- [TWK 98] Thumm, M. / Wiesbeck, W. / Kern, S.: *Hochfrequenzmeßtechnik: Verfahren und Meßsysteme*, B. G.Teubner, 1998
- [Thu 99] Thumm, M.: *Hoch- und Höchsthfrequenzhalbleiterschaltungen*, Skriptum zur Vorlesung Hoch- und Höchsthfrequenzhalbleiterschaltungen, Universität Karlsruhe, WS 1999 / 2000
- [Gra 97] Grau, G.: *Rauschen*, Skriptum zur Vorlesung Ausgewählte Kapitel der Hochfrequenztechnik Universität Karlsruhe, WS 1997 / 1998
- [Hof 97] Hoffmann, M., H., W.: *Hochfrequenztechnik: ein systemtheoretischer Zugang*, Springer, 1997
- [Bae 98] Bächthold, W.: *Mikrowellentechnik: Kompakte Grundlagen für das Studium*, Vieweg, 1998
- [HP 87] Hewlett Packard: *Product Note 8970B/S-2*
Application and Operation of the HP 8970B Noise Figure Meter and HP 8970S Microwave Noise Figure Measurement System, August 1987