

雑音指数の測定法

Ver. 2.00

1. NF 測定原理

雑音指数は増幅器の入力端子の S / N 比と増幅器出力端子における S / N 比で表され、定量的な雑音源と、被測定増幅器出力 S / N 比を測定することにより雑音指数 (NF) を求めることができます。

具体的に表しますと

雑音指数 = 増幅器出力段における全雑音出力 (No) / 常温で入力段における熱雑音 (Ni) × 増幅器利得 (G)

$$\begin{aligned} &= (K T_e B G + K T_o B G) / N_i \times G \\ &= (K T_e B G + K T_o B G) / K T_o B G \\ &= (T_e / T_o) - 1 \quad \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

雑音指数 F は

$$T_e = (F - 1) \times T_o \quad \dots \dots \dots (2)$$

$K T_e B G$ …… 入力段である温度で発生する雑音を増幅器出力から換算された雑音出力

$K T_o B G$ …… 常温よりの雑音出力

増幅器にある温度の既知入力抵抗が接続された時の全雑音出力は

$$K (T_i + T_e) = K \{ T_i + T_o (F - 1) \} B G \dots \dots \dots (3)$$

今、雑音源 (ノイズソース) の温度が 290 °K (17 °C) 以外に 2 つの温度でドライブされますと

$$N_{o1} = \{ K T_1 + K (F - 1) T_o \} B G \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$N_{o2} = \{ K T_2 + K (F - 1) T_o \} B G \quad \dots \dots \dots (5)$$

$N_{o2} / N_{o1} = Y$ とすると

$$Y = T_2 + (F - 1) T_o / T_1 + (F - 1) T_o$$

$$Y - 1 = \{ T_2 + (F - 1) T_o - T_1 (F - 1) T_o \} / T_1 + (F - 1) T_o$$

$$= (T_2 - T_1) / \{ T_1 + (F - 1) T_o \} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$F = \{ \{ (T_2 / T_o) - 1 \} / Y - 1 \} + 1 \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで $T_o = T_1$ とすると

$$F = \{ (T_2 / T_o) - 1 \} / (Y - 1) = T_e / (Y - 1) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$(T_2 / T_o) - 1$ が ENR と呼ばれるもので雑音源 (ノイズソース) が T_e で駆動されています。

$$ENR (dB) = 10 \log_{10} \{ (T_2 / T_o) - 1 \} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$NF(dB) = ENR(dB) - 10 \log_{10}(Y - 1) \dots \dots \dots (10)$$

$$NF(dB) = ENR(dB) - 10 \log_{10}\{10^{Y(dB)/10} - 1\} \dots \dots \dots (11)$$

Y = ノイズソースのON/OFF比

ENR = ノイズソース過剰雑音

上記(11)式によりENR及び増幅器の出力雑音比Yを測定すれば系のNFが求められます。

2. 測定温度おけるNFの補正

雑音源(ノイズソース)のENRは290°K(17)で校正されているため、測定温度が変わりますと(7)式のT1が変化するためENRが変化します。

17 以外の測定温度補正による真値NF_Tは(7)式より

$$F = \{ \{ (T_2/T_0) - 1 \} - \{ Y(T_1/T_0) - 1 \} \} / (Y - 1) \\ = \{ \{ (T_2/T_0) - (T_1/T_0) \} / (Y - 1) \} - \{ (T_1/T_0) - 1 \} \} \dots \dots (12)$$

(T₂/T₀) - (T₁/T₀) (T₂/T₀) - 1であるから

$$= \{ \{ (T_2/T_0) - 1 \} / (Y - 1) \} - \{ (T_1/T_0) - 1 \}$$

故に真値NF_Tは

$$NF_T(dB) = 10 \log_{10} \{ 10^{F_m(dB)/10} - (T_1/T_0 - 1) \} \text{ となります。}$$

T₁ = 測定温度 (°K)

T₀ = 290°K(17)

F_m(dB) = 測定温度のNF値

3. 後段の増幅器によるNFの補正

被測定増幅器の利得が低い場合、低NF測定の場合は特に後段増幅器のNFの影響を受けやすくなります。

NF測定においてはトータル(被測定増幅器+後段増幅器)のNFが測定されますので下記の補正が必要になります。

$$NF_m = F_1 + (F_2 - 1) / G_1$$

$$NF_m(dB) = 10 \log_{10} \{ NF_1 + (NF_2 - 1) / G_1 \}$$

NF_m(dB) = NF値の読み(トータルNF)

NF₁ = 被測定物NF

G₁ = 被測定物GAIN

NF₂ = 後段デバイスNF(プリアンプ等)

ゆえに後段のNF影響度 NFは

$$\begin{aligned}NF(dB) &= NF_m(dB) - NF_1(dB) \\ &= 10 \log_{10} \{ 1 - \{(F_2 - 1) / G_1 \cdot F_1\} \end{aligned}$$

4 . Ex c e l Noise Figures 計算表の使い方

1) Y FACTORによるNF計算値、雑音温度

ENR (黄色のセル) に測定周波数のノイズダイオードのENR値を入力します。
ノイズダイオードENRのON/OFF比、すなわちENRの発生する電源をONした
場合と電源OFF (50 の終端状態) 比のdB値を入力すると擬似デバイスの
NF、雑音温度が計算されます。

2) 測定温度によるNF補正表

ノイズダイオードのENRは290°K (17) で校正されているため測定時の
環境温度が異なる場合、測定温度 (黄色のセル) に測定時の温度を入力します。

1) 項で求められたFm (dB) を入力すると、真値NFが計算されます。

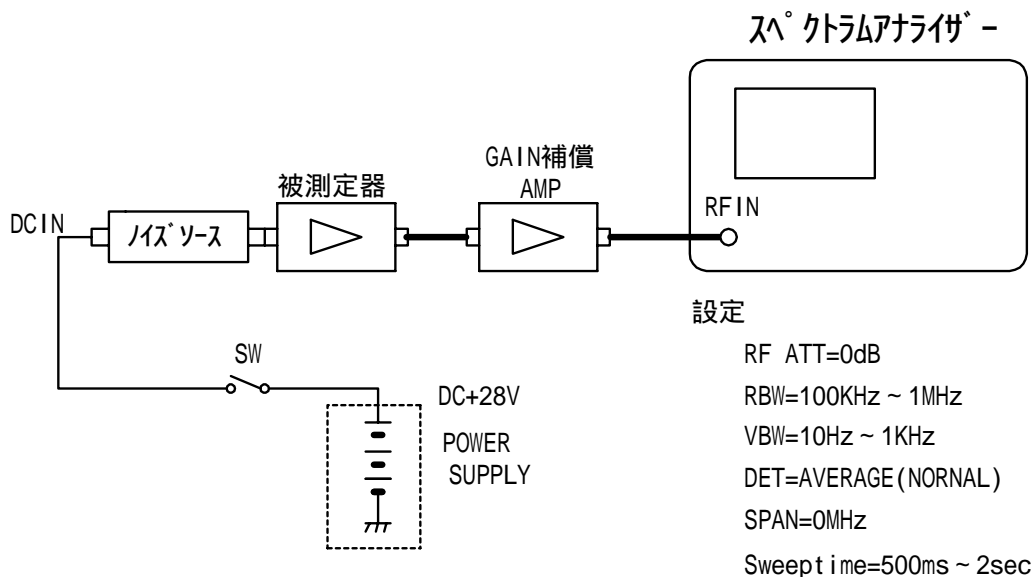
3) 後段増幅器による測定NFの影響

被測定物のNF (NF1) が低く、利得が低い場合は次段NF (NF2) の影響が
大きくなります。

被測定物NF (NF1)、次段増幅器NF (NF2)、被測定物GAINを (各々の黄色の
セル) 入力するとトータルのNFが計算されます。

5. スペクトラムアナライザによるNF測定法

1) 測定系



2) 概要説明

上記のように接続します。同軸ケーブルは外来ノイズの影響を受けないよう2重シールドケーブルを使用します。

スペクトラムアナライザの設定はおよそ上記のとおり行います。ノイズソースの電源は一般にDC+28Vが標準です。ノイズソースの規格の電圧にします。

GAIN補償AMPはスペクトラムアナライザのリニアリティの良いレベルまで増幅する事と、被測定器の後段のNFの影響を出来るだけ少なくするため低いNF増幅器(約3dB以下)を使用します。

具体的にはRBW=1MHzとするとS/N=0dBの時のノイズレベルは

-114dBmとなります。被測定器+GAIN補償AMPが+50dBとすると系のNFが0dBで50dB増幅した場合、 $-114 + 50 = -64$ dBmとなります。

同じくRBW=100KHzの場合は-74dBmとなります。

スペクトラムアナライザの機種によってもリニアリティの良いレベルは異なると思いますが、増幅器のGAINを考慮すると、-70~-30dBm位が妥当と考えられます。

このレベルはノイズソース電源ONすなわちENR=15dB、被測定器NF=0dBの場合は約15.1dBノイズレベルが高くなりますのでこのことも考慮します。

NF測定周波数をスペクトラムアナライザで設定してノイズソースの電源ON

とOFFの時のレベルを読みます。ノイズのため多少レベルが変化しますので、理想的には50回測定の平均値を取ります。

Sweep timeとVBWは読みやすい位置に設定します。

このときノイズダイオードの電源ON/OFF時のノイズレベルの差の絶対値が**Yファクタ**になります。

Excel Noise Figures 計算表でNF値を求めます。

表のYFACTORは0.05dBステップでインクリメントされますので表にENRとYFACTORが存在しない場合は適当な数値を入力して求めてください。

上記測定法はENRの誤差と、スペクトラムアナライザのリニアリティ誤差がありこの値の正確さに依存します。ミキサー方式のNF測定器はイメージ周波数を測定しないような工夫、及びNF測定器のIF帯域が比較的広い為、測定帯域より狭い増幅器はNFが悪く測定されるなどのミス測定の可能性があります。

ノイズソースの出力コネクタと被測定器の入力は直結してロスを限りなく無くし測定エラーを最小限にするなど測定には十分な注意が必要です。

その上に測定環境温度、後段のNFを考慮します。

参考にスペクトラムアナライザのNFは(RFATT = 0dB)約15dB前後です。