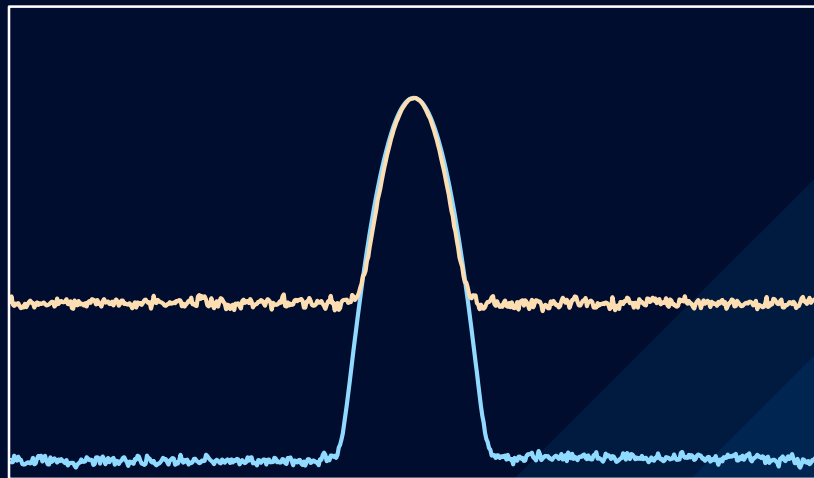


スペクトラム・アナライザの基礎 - 雑音指数



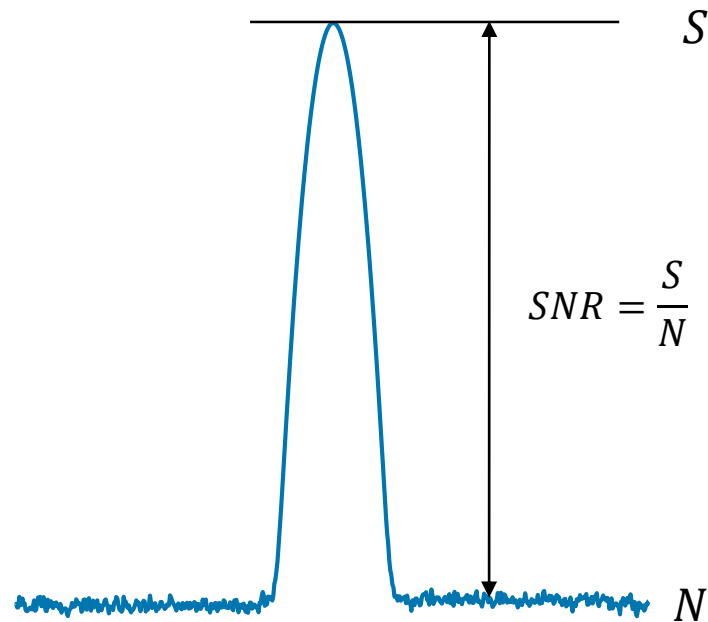
ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



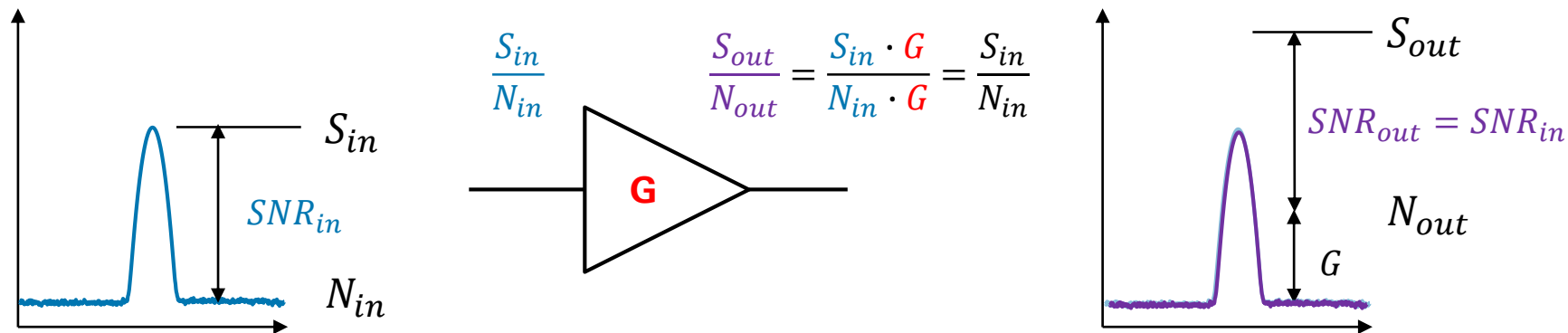
信号対雑音比 (SNR) について

- ▶ 隣接する雑音電力 (N) に対する信号電力 (S) の比
 - 通常は dB で表現される
- ▶ ほとんどの場合、高い SNR が望ましい
 - 信号検出能力を向上
 - 信号復調能力を向上
- ▶ 雑音の原因は次のとおりです。
 - 外部雑音(環境から)
 - 内部雑音(システム自体から)



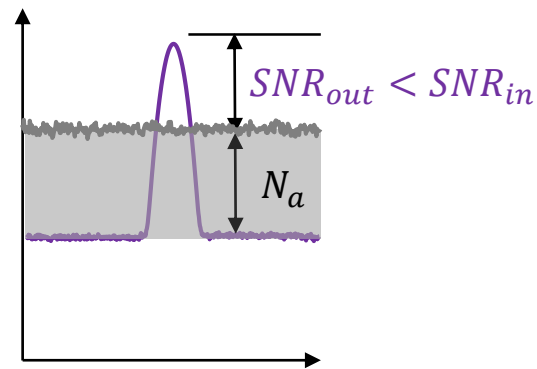
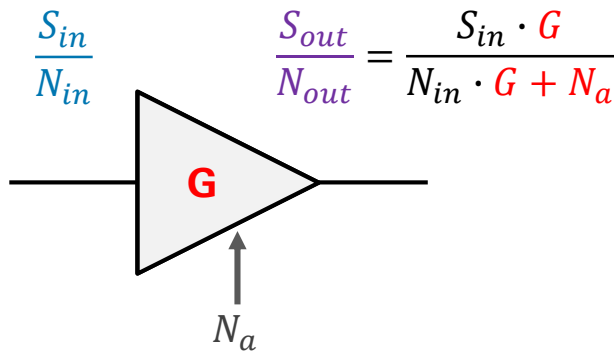
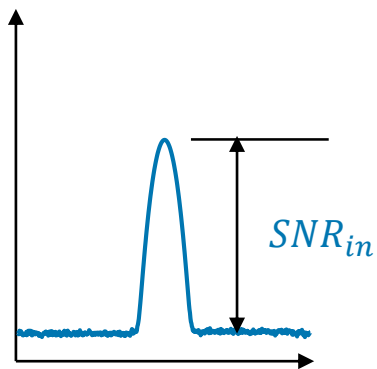
理想的なデバイス

- ▶ SNRが低い信号の場合、それを増幅することで SNR を改善できると考えるかもしれませんが
- ▶ ただし、入力信号と雑音の両方が同じ量 (G) で増幅される
 - 入力と出力の SNR は同じ



実際のデバイス

- ▶ 実際のアンプは、自身の内部雑音 (N_a) の一部を入力信号に印加する
 - 出力 SNR は常に入力 SNR よりも悪い
- ▶ すべてのアクティブおよびパッシブ デバイスまたはコンポーネントは雑音を印加する
- ▶ 特定のデバイスによって追加された雑音の量をどのように定量化するのか？

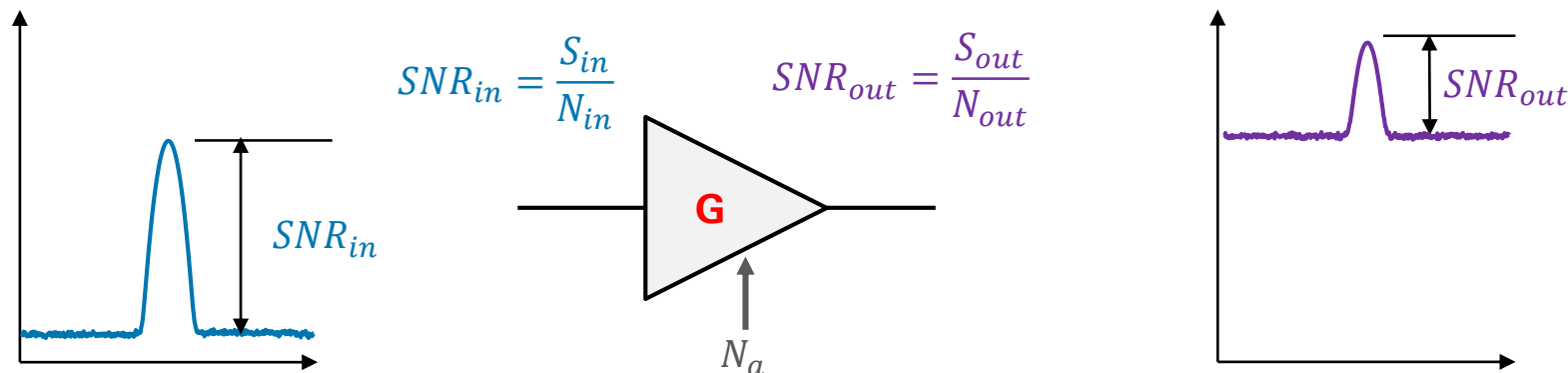


雑音指数の定義

- ▶ 雑音係数 (F) は、入力 SNR と出力 SNR の線形比です。
- ▶ 通常、対数形式に変換されます (dB)
 - これは雑音指数 (F_{dB}) と呼ばれます。

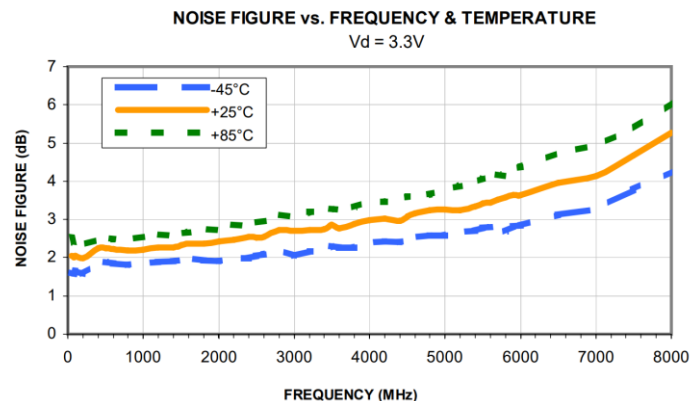
$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = \frac{\left(\frac{S_{in}}{N_{in}}\right)}{\left(\frac{S_{out}}{N_{out}}\right)}$$

$$F_{dB} = 10 \log(F)$$



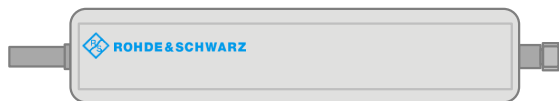
雑音指数 (NF) について

- ▶ コンポーネントまたはシステムを通過する信号に印加される雑音の量
 - RFアプリケーションにおける重要な「性能指数」
 - 低レベル信号の受信/検出能力の向上
 - 雑音指数が低いほど望ましい
- ▶ 1桁の dB 範囲の典型的な値
 - $NF < 1$ dB または 10 台前半も珍しくない
 - 周波数と温度によって異なる
- ▶ 多くの場合、送信電力やアンテナ サイズを大きくするよりも、雑音指数を改善する方が簡単かつ費用対効果が高くなるケースが多い

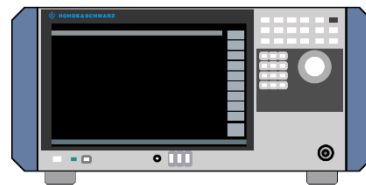


雑音指数の測定

- ▶ NF の測定に使用される 2 種類の機器:
 - スペクトラムアナライザ
 - ベクトルネットワークアナライザ
- ▶ 狭帯域入力信号では未測定
 - 代わりに、広帯域ノイズソースが使用される
- ▶ ソースは既知の量のノイズを生成する
 - そのENR（過剰雑音比）として指定
- ▶ スペクトラム・アナライザとノイズソースにより、Yファクター法でNFを測定する



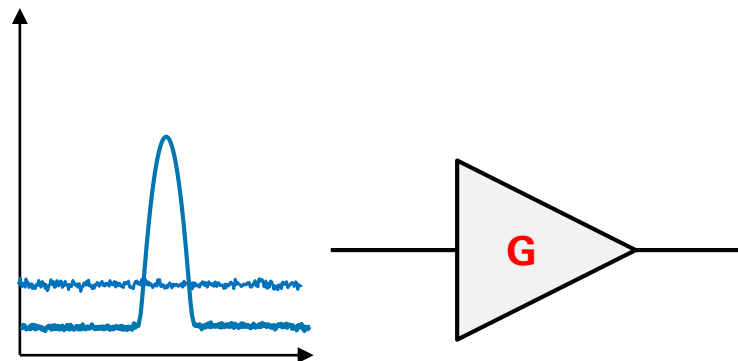
ノイズソース



スペクトラムアナライザ

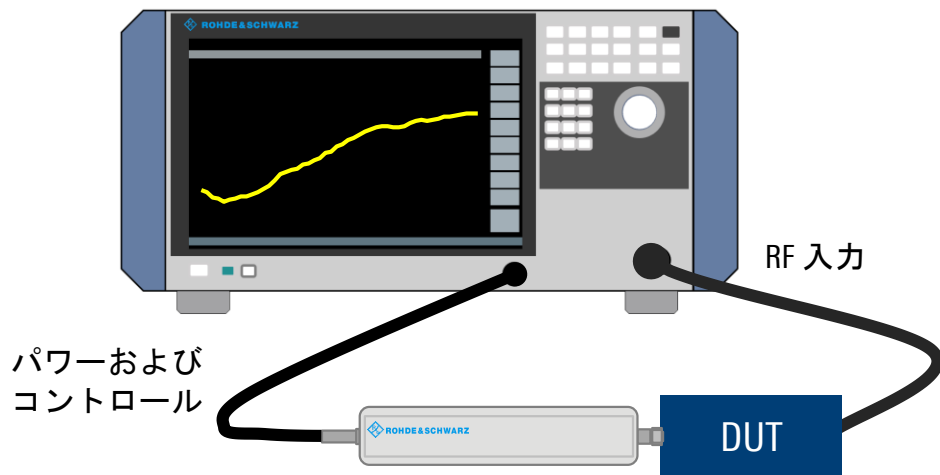


ベクトルネットワークアナライザ



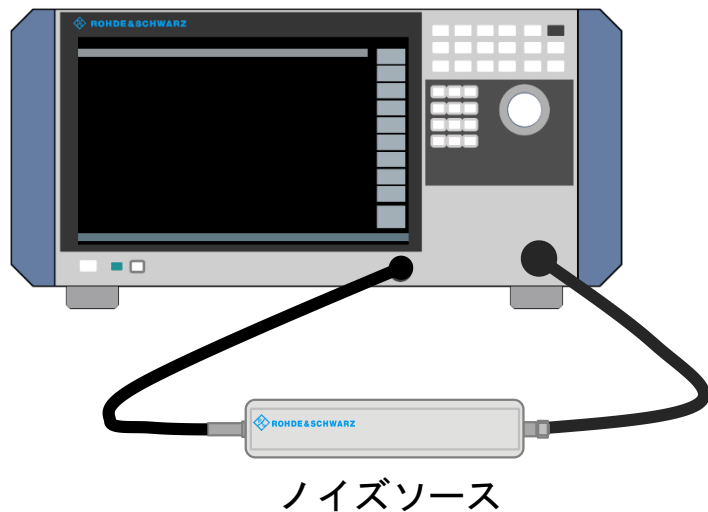
Yファクター法

- ▶ 最も広く使用されているNF測定法
- ▶ DUT 入力に接続されたノイズソースと、DUT 出力に接続された仕様
 - ノイズソースはアナライザで制御される
- ▶ ノイズソースがオフと、ノイズソースがオンの際にDUTから出力される雑音電力を測定
 - 差はYファクター
- ▶ 多くの場合、測定はさまざまな周波数で行われる
 - DUTゲインも測定される

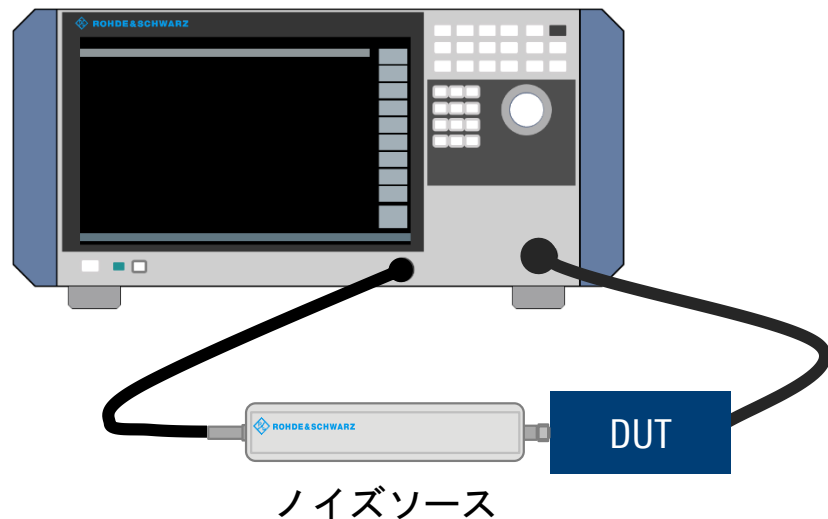


Yファクター法の2つのステップ

校正

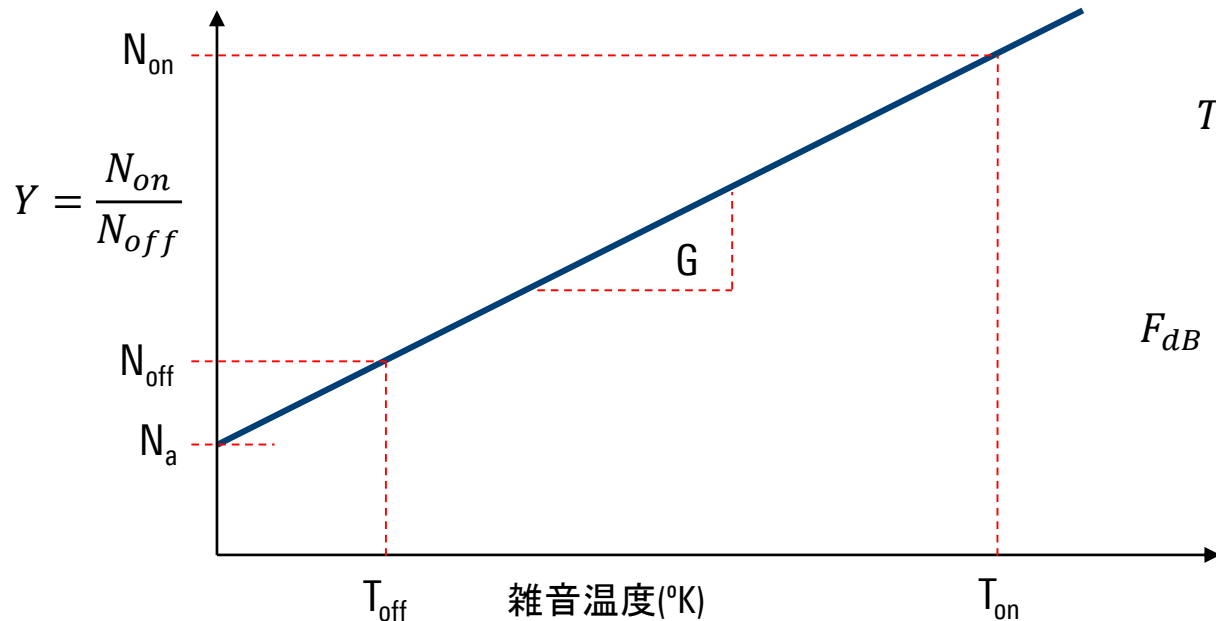


測定



Yファクター法の詳細

DUT出力雑音電力(W)



$$T_{off} = 290^{\circ}K$$

$$T_{on} = T_{off}(1 + 10^{[ENR/10]})$$

$$F_{dB} = ENR_{dB} - 10 \log(Y - 1)$$

その他の雑音指数測定トピック

ノイズ源およびENR



プリアンプ



不確実性の計算

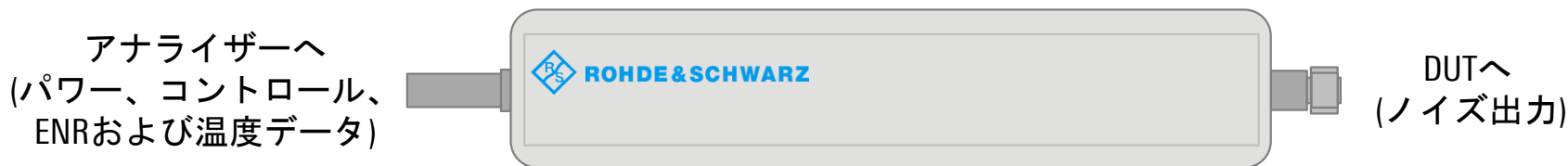


カスケード雑音指数



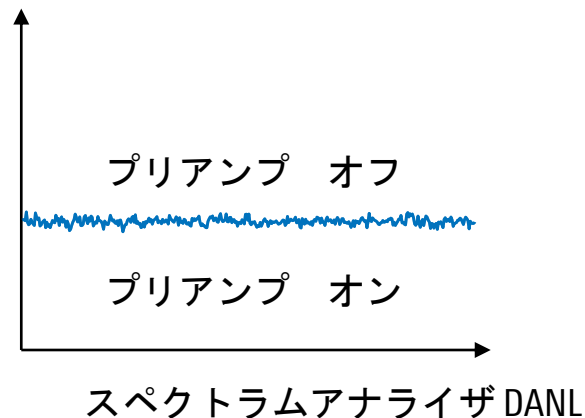
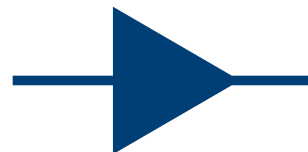
ノイズソースおよびENRについて

- ▶ ノイズソースの主な特性は、周波数範囲とENRである
- ▶ 一般的なENR値は ~6 dB、~15 dB、および ~25 dBである
 - 雑音指数の高いデバイスを測定する場合は、より高いENRが必要
 - ENRは、仕様のNFよりも少なくとも3 dB高い必要がある
- ▶ 従来、紙または電子的に提供されていた校正データ
- ▶ スマートノイズソースは、このデータを内部に保存します (計測器で読み取りが可能)
 - 温度変化の測定が可能 ($T \neq 290^{\circ}\text{K}$)



プリアンプと雑音指数測定について

- ▶ 正確な雑音指数測定には、ほとんどの場合において内部または外部のプリアンプが必要である
 - 特に、DUTの雑音指数が低く、ゲインも低い場合
- ▶ 多くの場合、雑音指数の仕様は測定の不確かさの最大の要因である
 - ほとんどのアナライザは、オプションでプリアンプを内蔵可能
 - プリアンプを有効にすると、アナライザの表示平均雑音レベル (DANL) が減少し、測定の不確かさが大幅に減少する
- ▶ プリアンプは測定システムの一部として扱われ、測定結果から校正可能



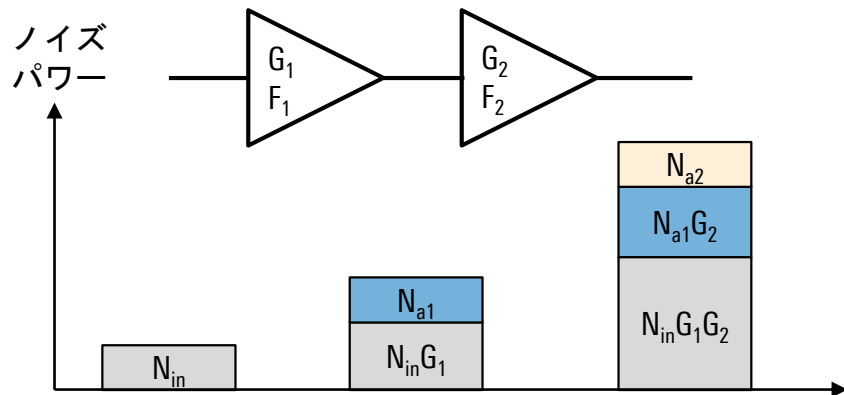
雑音指数測定の不確かさについて

- ▶ 雑音指数測定の不確かさは、多くの要因によって引き起こされる
 - ENR の不確かさ、インピーダンスのミスマッチ、仕様の NF と直線性、DUT の NF とゲイン、周囲温度など
- ▶ これらの不確か性の寄与の影響は相互に依存している
 - 手動計算は複雑になる可能性がある
- ▶ 雑音指数の不確かさのアプリケーションが一般的に使用されます。
 - ユーザーが各値を入力すると、測定の不確かさが計算される

Measurement Noise Source	DUT	Analyzer
Output Match	Input Match	SA Input Match (Typical)
Use SNS Values: On Off	VSWR RL 1.0	VSWR RL 1.87
VSWR RL 1.15	Use Meas Values: On Off	SA NF Uncert 0.05 dB
ENR Uncert 0.2 dB	DUT NF 3.0 dB	SA Gain Uncert 0.15 dB
	DUT Gain 15.0 dB	SA NF 12.22 dB
	Frequency (IF) 1.0 GHz	Ext PA On Off
		PA NF 5.0 dB
		PA Gain 20.0 dB
		Net SA NF 12.22 dB
Guidelines (repeatability)	ENR - SA NF [> 3 dB] 2.78 dB	NF Uncert +/- 0.21 dB
	ENR - DUT NF [> 5 dB] 12.0 dB	Meas Offset
	DUT (NF+Gain) - SA NF [> 1 dB] 5.78 dB	

カスケード雑音指数について

- ▶ カスケード接続されたコンポーネントの結合雑音指数は、各コンポーネントのゲイン (G) と雑音指数 (F) から計算できます。
 - 雑音指数値の単純な加算ではありません
 - 計算にはフリス方程式が使用される
- ▶ 後続の各ステージで追加されるノイズは、総ノイズに対して割合が小さい
 - カスケードの雑音指数は、最初のステージに支配される
- ▶ 最小の雑音指数を持つコンポーネントは、チェーンの前部またはその近くに配置する必要がある
 - スペクトラム・アナライザの内蔵プリアンプ



$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

dBではなく線形項

まとめ

- ▶ 雑音指数は、デバイスまたはシステムによって追加された雑音の量を定量化する
 - 出力信号 対 雑音比の低下
- ▶ Yファクタ法は、雑音指数を測定する最も一般的な方法である
 - スペクトラム・アナライザとノイズソースを使用
 - ノイズソースがオフあるいはオン時の測定
 - スペクトラム・アナライザによって追加された雑音を除去するために校正ステップが使用される
- ▶ プリアンプは雑音指数測定に役立つ
- ▶ カスケードの雑音指数はフリスの式で計算される

