

アンプの残留位相ノイズ

この記事では、受信機（および送信機）におけるデバイスの $1/f$ ノイズやその他のノイズ源について説明・分析し、アンプの残留位相ノイズが受信機の信号経路を通して受信機の出力に至るまでの間に RF 信号にどのような影響を与えるかを理解します。

位相ノイズとは？

位相ノイズとは、信号においてランダムな位相変動が短期間に急激に起こることで発生するノイズと定義されます。周波数領域では、振幅変調（AM）ノイズと位相変調（PM）ノイズは、中心周波数（搬送波周波数）を中心に対称的に発生します（図 1）。位相ノイズは電力スペクトル密度（PSD）あるいはスポットノイズとして、搬送波電力に対する帯域幅（BW）1Hz 当たりの電力として測定され、dBc/Hz（搬送波に対する dB）の単位で表されます。位相ノイズが小さいほど、システムの性能は向上します。図 1 は、アンプの搬送波周波数（x 軸 単位は周波数）と搬送波電力（y 軸 単位は電力 dBm）を示しています。搬送波周波数は灰色の線で示された単一トーンです。このトーンに重複されるのがアンプに起因する残留位相ノイズ（青の曲線）と、その搬送波周波数への影響です。位相ノイズは、1Hz の帯域幅にて、ピーク搬送波電力に対する dBc/Hz で測定し、搬送波に対するレベルは dBc で表します。残留位相ノイズは搬送波周波数を基準とし、搬送波から周波数オフセットした位置で搬送波電力に対して dBc/Hz で測定します。一般に、位相ノイズは搬送波周波数を基準にディケード単位で 1kHz~10kHz の範囲を示します。

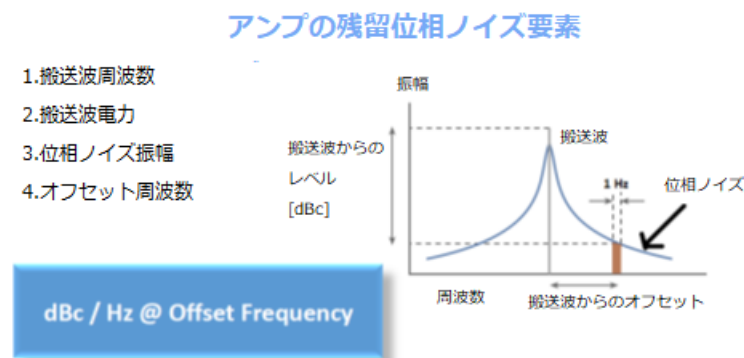


図 1: 搬送波周波数に対するアンプの残留フェイズノイズの周波数スペクトラム

位相ノイズ源と一般的な要求仕様

アンプの残留位相ノイズには多くの要因があります。これらの要因のいくつかを以下にまとめます。

- アンプの出力電力
- 搬送波周波数
- オフセット周波数
- アンプ内部で使われる技術
- バイアス電圧
- DC 電源からのノイズ
- カスケード接続されたアンプの段数

一般的に、位相ノイズは AM と PM に分類されます。図 1 に示されるように、PM は搬送波からのオフセットとして表され、周波数として測定されます。PM は振幅 (Y 軸) にも影響し、キャリア周波数 (灰色の線) からのさまざまな周波数オフセット (X 軸) として測定されます。

アンプの技術に関しては、2 μm の HBT アンプと 0.5 μm の InGaAs アンプの残留位相ノイズの測定結果を比較することで理解できます。0.5 μm の InGaAs デバイスの $1/f$ ノイズのコーナー周波数は、2 μm の HBT デバイスよりもはるかに高い周波数になっています。そのため、0.5 μm InGaAs 素子を用いたアンプは、2 μm HBT 素子を用いたアンプより搬送波に近い部分の位相ノイズが高くなることが予想されます。

一般的な要求仕様

Mini-Circuits 社は、お客様、特に防衛用レーダーのアプリケーションに携わっているお客様にアンケートを実施しました。その結果、アンプの残留位相ノイズとして優秀であると認められる基準値は、10KHz のオフセットで -165dBc であるという回答が得られました。Mini-Circuits 社はこの回答を念頭に置いて、これらの厳しい要求を満たす数多くの MMIC アンプの残留位相ノイズを特性化しました。顧客調査結果の概要を図 2 に、Mini-Circuits 社の低位相ノイズアンプ製品の一部を表 1 に示します。

位相ノイズのお客様要求 (dBc/Hz)

@10kHz Offset

-150 < X < -155	Fair
-155 <= X <= -165	Good
-165 < X	Excellent

図2: 搬送波周波数から 10kHz オフセットにおけるアンプの残留位相ノイズに関するお客様の要求。

位相ノイズの測定

Mini-Circuits 社では、位相ノイズを測定するために異なるメーカーの試験機器を複数評価しています。信号の搬送波周波数と印加された信号電力に関する位相ノイズ測定の再現性は、複数の要因のために非常に困難とされていますが、データは試験機器構成と同程度の再現性を示しています。Mini-Circuits 社のエンジニアリングチームは、測定の完全性を損なう可能性のある影響を最小限に抑えるために、試験手順の開発には細心の注意を払っています。

DUT 入出力電力からのノイズ

測定は、被測定デバイス (DUT) との間の入力/出力電力に依存します。理想的には、DUT の入力電力を変化させて測定し、その結果得られる DUT の出力電力と、テスト機器の位相検出器にフィードバックされる電力を「ノイズレス」に測定することが必要です。これらのノイズ問題を最小限に抑えるために、Mini-Circuits 社ではメカニカルなステップアッテネータとパッシブ高指向性カプラを採用しています。

機械的振動と外部 EMI

位相ノイズ試験装置と測定は、機械的振動と外部からの EMI にも非常に敏感です。これらの影響を軽減するために、Mini-Circuits 社では振動減衰機能を備えた EMI シールド筐体で試験機器を構成し、これらの問題による測定への影響を軽減しています。

AC 電源ラインノイズ

AC 電源ラインノイズは、低いオフセット周波数での測定に悪影響を及ぼす可能性があります。Mini-Circuits 社では、AC ラインフィルタの使用によりラインノイズを軽減しています。

さらに、単一のテスト機器がすべてのオフセット周波数にわたって最適に機能することはありません。Mini-Circuits 社では、上述のノイズ軽減技術と 10kHz から 100kHz の領域で最高の性能を発揮する機器を選択し組み合わせています。この設定により Mini-Circuits 社はアンプの残留位相ノイズを高い信頼性で測定をすることができます。Mini-Circuits 社アンプの残留位相ノイズ

仕様を、数点のオフセット周波数と近傍および広帯域 (> 1 MHz) 雑音を含めて以下の表 1 に示します。これらの測定に使用される搬送波周波数は、"F Input"に示されるように、1GHz または 2GHz です。位相ノイズの測定例については、以下のリンクのビデオをご覧ください。

[残留位相ノイズの測定](#)

表 1: Mini-Circuits'社アンプの各周波数における位相ノイズ測定.

DEVICE	Technology	F_Input [GHz]	PIN [dBm]	L@100 Hz [dBc/Hz]	L@1kHz [dBc/Hz]	L@10kHz [dBc/Hz]	L@100kHz [dBc/Hz]	L@1MHz [dBc/Hz]
AVA-183A+	0.15 InGaAs	2	8	-130	-145	-153	-158	-163
AVA-183A+	0.15 InGaAs	5	-4	-134	-143	-151	-156	-160
PMA3-83LN+	0.25 um InGaAs	2	-6	-128	-147	-155	-161	-167
TSY-172LNB+	0.5 InGaAs	2	10	-138	-148	-155	-159	-170
TSS-13HLN+	0.5 InGaAs	1	0	-141	-153	-162	-171	-173
PHA-1H+	0.5um InGaAs	2	-4	-145	-158	-164	-167	-171
PMA-5456+	0.5um InGaAs	2	-3	-140	-152	-161	-169	-173
GALI-39+	2um HBT	2	3.27	-149	-160	-172	-172	-173
GALI-84	2um HBT	2	1	-148	-162	-172	-172	-172
ERA-9SM+	2um HBT	2	5	-150	-164	-173	-173	-173
ERA-21SM+	2um HBT	2	2	-153	-161	-170	-171	-172
GVA-81+	2um HBT	2	6	-154	-161	-171	-173	-173
GALI-6+	2um HBT	2	2	-150	-160	-169	-171	-172
LEE-59+	2um HBT	2	8	-150	-161	-171	-172	-172
GVA-123+	2um HBT	2	1	-151	-162	-169	-171	-171
GVA-93+	2um HBT	2	1	-151	-163	-169	-171	-171
ERA-5SM+	2um HBT	2	10	-149	-161	-170	-171	-171
ERA-6+	2um HBT	2	1	-150	-161	-170	-172	-173
PSA-14+	2um HBT	2	-1	-148	-156	-164	-169	-169

結論

アンプの残留位相ノイズは送受信機の位相ノイズ性能に大きく影響するため、設計者はシステムに使用するアンプを選択する前に、位相ノイズの仕様を求める傾向があります。Mini-Circuits社のエンジニアリングチームは、位相ノイズとその発生源について深く理解しており、アンプの位相ノイズを測定する能力に投資をすることにより、様々なアプリケーションに対して信頼できるデータをお客様に提供しています。Mini-Circuits社は、信頼性の高い位相ノイズ雑音測定を行うという特別な挑戦を行っており、上記の表のデータは、最も厳しいアプリケーション要求を満たす弊社商用アンプの優れた性能を示しています。

ここで紹介した製品や、他のモデルの位相ノイズデータについてのご質問は、Mini-Circuits社 thomasj@minicircuits.com またはお近くの代理店にお問い合わせください。

この記事で紹介されているすべての製品は [Mini-Circuits社](#) のウェブサイトでご覧いただけます。

その他の参照資料：

[Best Practices for Additive Phase Noise Measurements in Amplifiers - Mini-Circuits Blog \(minicircuits.com\)](#)

以上。