

Application Brief

LMX2615 および LMX2624 からのアラン偏差測定データ



Narala Reddy

はじめに

このアプリケーション概要では、2 つの異なる入力基準源を使用した LMX2615 と LMX2624 出力で FSWP50 を用いて測定されたアラン偏差のシリコン結果を示します。発振器のスペクトル成分におけるパワー法則依存性は既知の現象です。フリッカーや周波数ランダムウォークを扱うときに、古典的な分散は、これらのノイズプロセスで分岐したり、信頼性が低下する可能性があります。この問題に対処するために、アラン分散 (Allan Variance) が導入されました。アラン偏差 (2 標本偏差) はアラン分散の平方根であり、時間領域における発振器の短期安定性を記述するための標準的な方法です。アラン偏差は、系統的誤差や温度の影響ではなく、ノイズプロセスによる発振器の安定性を測定するために使用されます。アラン偏差は、x 軸上のさまざまな時間間隔における y 軸の周波数の不安定性を示す測定値です。より長い測定時間間隔でランダムな周波数変動を適切に測定するには、発振器 (基準源) からの経年変化を差し引く必要があります。アラン偏差プロットを使用して複数の基準発振器を比較し、希望する発振器 (低ノイズ) を選択するために使用できます。アラン偏差は、気象学、原子時計などのさまざまな分野で応用されています。100MHz の発振器の場合、観測ウィンドウが 1 秒のときのアラン偏差 1×10^{-11} は、RMS の周波数変動として $1 \times 10^{-11} \times 100\text{MHz}$ 、すなわち 10^{-3} (1MHz) であるとみなすことができます。1 秒間のウィンドウ内でランダムに取得したサンプルでは、周波数 RMS 変動は 1MHz です。

アラン偏差の測定オプション

時間領域と周波数領域でアラン偏差を測定するには複数の方法があります。時間領域におけるこのようなアプローチの 1 つが、周波数カウンタを使ったアプローチです。精度は、周波数カウンタの分解能と、測定時間が長くなる場合に必要となるメモリ容量によって異なります。もう 1 つのアプローチは周波数領域アプローチであり、位相ノイズデータを使用してアラン偏差を導き出すことができます。

そのような迅速なアプローチの 1 つが R&S FSWP50 で利用可能です。この機能は、位相ノイズアナライザからの情報を使用して、アラン偏差を測定します。位相ノイズ観測ウィンドウを 1MHz まで拡張することで、FSWP50 を 10^3 秒まで測定できると R&S は主張しています。

アラン偏差プロットには、時間に対して複数の領域があります。これらは、ホワイト位相領域、フリッカー位相領域、ホワイト周波数領域、フリッカー周波数領域、ランダムウォーク周波数領域です。図 1 に、これらの領域を示します。

表 1 に示すように、R&S FSWP50 でのアラン偏差の測定にはいくつかの制約があります。

表 1. アラン偏差 FSWP-50 仕様

	アラン偏差	アラン分散
周波数範囲	R&S@FSWP8	1MHz ~ 8GHz
	R&S@FSWP26	1MHz ~ 18GHz
	R&S@FSWP50	1MHz ~ 50GHz
測定範囲	Tau	100ns ~ 1 000 000s
アラン偏差	基準周波数を内蔵し、R&S@FSWP-B61 オプション付き	Tau = 1s (公称値) の時 1.0×10^{-13}
		Tau = 1000s (公称値) の時 1.1×10^{-11}
	非常に安定した外部リファレンスを使用する基準周波数、100Hz の基準ループ帯域幅	Tau = 1s (公称値) の時 8.8×10^{-14}
		Tau = 1000s (公称値) の時 7.0×10^{-15}

B61 オプションでは、 $\tau = 1$ 秒で 1×10^{-13} を測定することしかできません。それより低い値の測定には、外部基準を使用する必要があります。LMX2615 と LMX2614 で使用される基準ソースに応じて、外部ソース位相ノイズの要件は異なります。

アラン偏差測定データ

このアプリケーション概要では、2 つの差分基準ソースを使用して LMX2615 と LMX2624 の出力時のアラン偏差を評価します。このアプリケーションブリーフには、表 2 のケースのシリコン結果を示します。

表 2. 基準ソースおよび出力周波数

ケース	基準ソース	出力周波数およびデバイス
1	SMA100B, 100MHz	8GHz, LMX2615
2	Wenzel, 100MHz	8GHz, LMX2615
3	SMA100B, 100MHz	8GHz, LMX2624
4	Wenzel, 100MHz	8GHz, LMX2624

ケース 1: 8GHz 出力における LMX2615、SMA100B 100MHz 基準

図 1 は、100MHz の入力基準ソースおよび LMX2615 の 8GHz 出力におけるアラン偏差とアラン分散を示しています。フリッカー周波数フロアは、使用する基準の種類と PLL ノイズによって異なります。フリッカーのフロアは基準では約 300ms の間隔に近く、8GHz の出力時で追従されています。

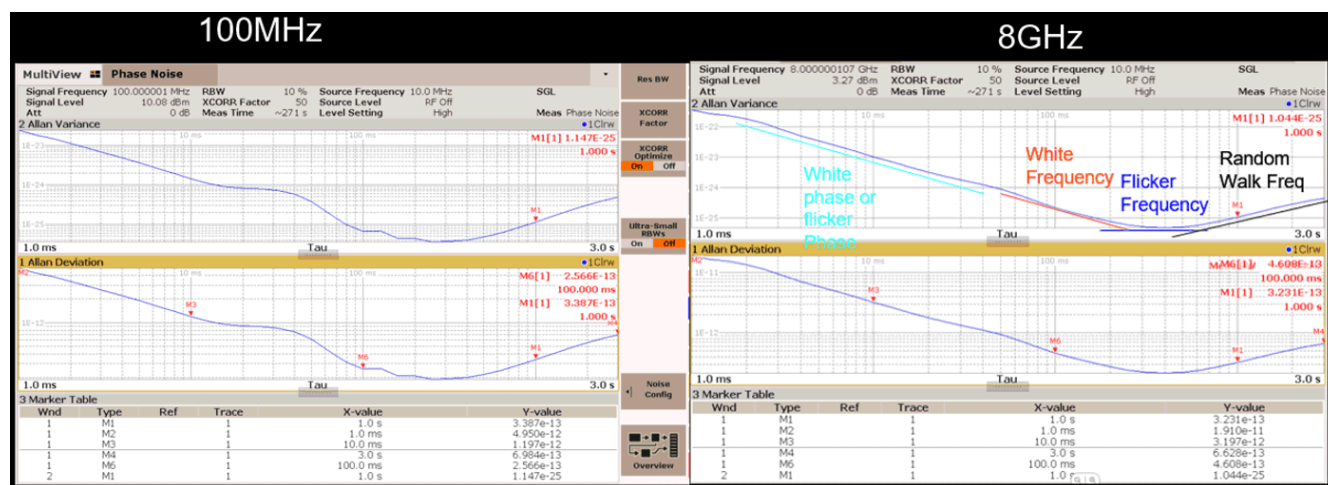


図 1. 8GHz 出力における LMX2615、SMA100B 100MHz 基準

ケース 2: 8GHz 出力における LMX2615、Wenzel 100MHz 基準

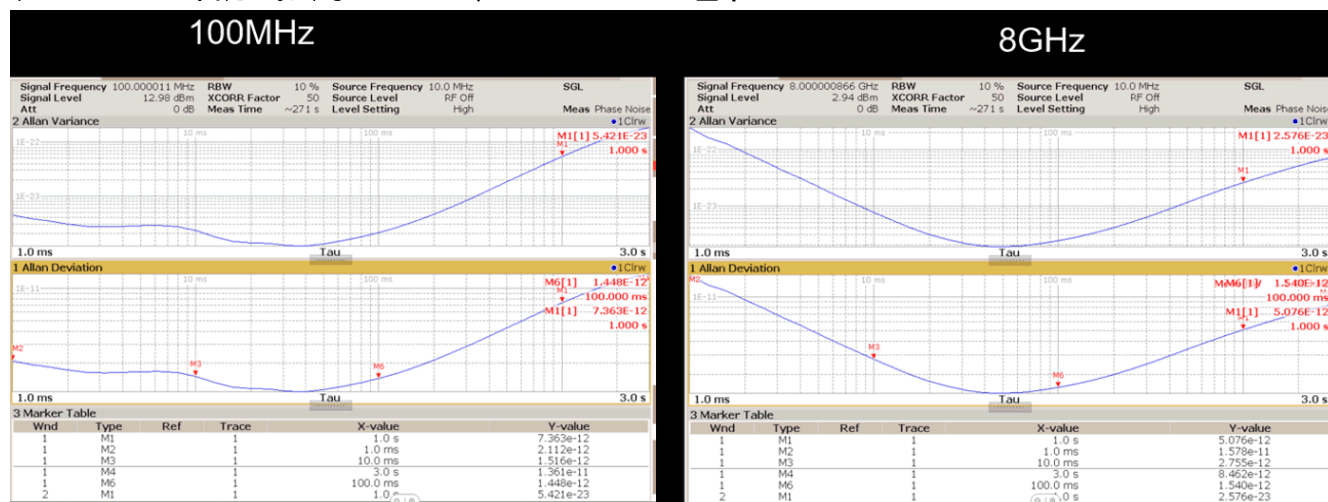


図 2. 8GHz 出力における LMX2615、Wenzel 100MHz 基準

- Wenzel ソースは、SMA100B ソースと比較して 1 秒と 3 秒の数値が低下しており、これは 8GHz の出力に伝播されています。

基準ソースは、LMX2615 の出力でアラン偏差として重要な役割を果たします。

ケース 3: 8GHz 出力における LMX2624、SMA100B 100MHz 基準

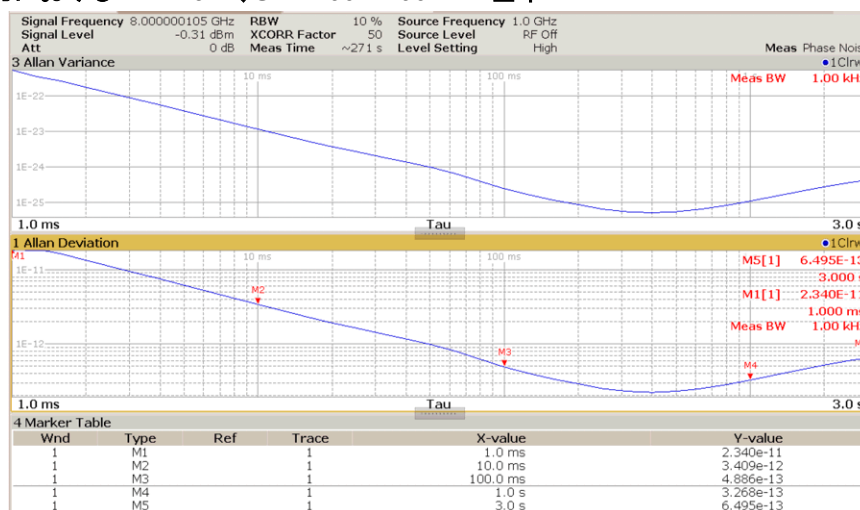


図 3. 8GHz 出力における LMX2624、SMA100B 100MHz 基準

ケース 4: 8GHz 出力における LMX2624、Wenzel 100MHz 基準

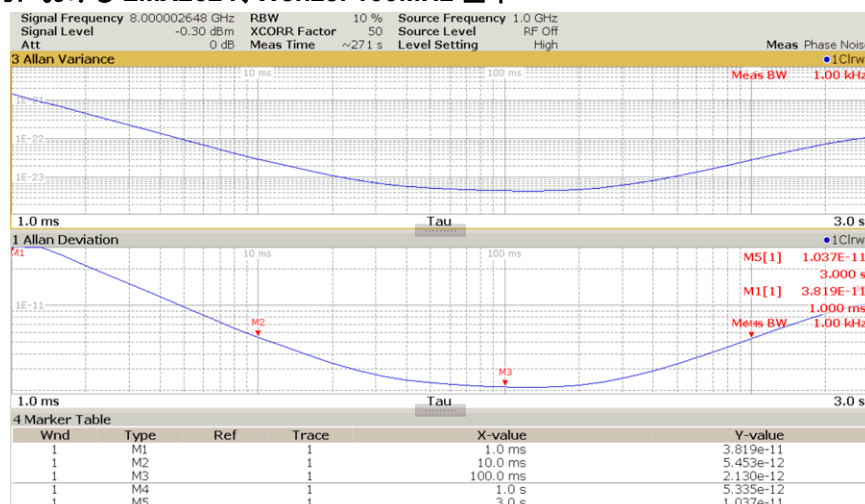


図 4. 8GHz 出力における LMX2624、Wenzel 100MHz 基準

アラン偏差データの概要

Tau が増加すると (表 3 参照)、制約が入力基準ソースに起因するため、LMX2615 と LMX2624 の両方で同様の結果が得られます。これは、Wenzel と SMA100B の両方の基準で有効です。

表 3. 8GHz 出力時のアラン偏差データの概要

Tau (8GHz)	SMA-LMX2615	SMA-LMX2624	Wenzel-LMX2615	Wenzel-LMX2624
10msec	3.19e-12	3.4e-12	2.75e-12	5.45e-12
100msec	4.6e-13	4.88e-12	1.54e-12	2.13e-12
1sec	3.23e-13	3.26e-13	5.076e-12	5.33e-12
3sec	6.62e-13	6.49e-13	8.46e-12	10.37e-12

基準ソースの分析

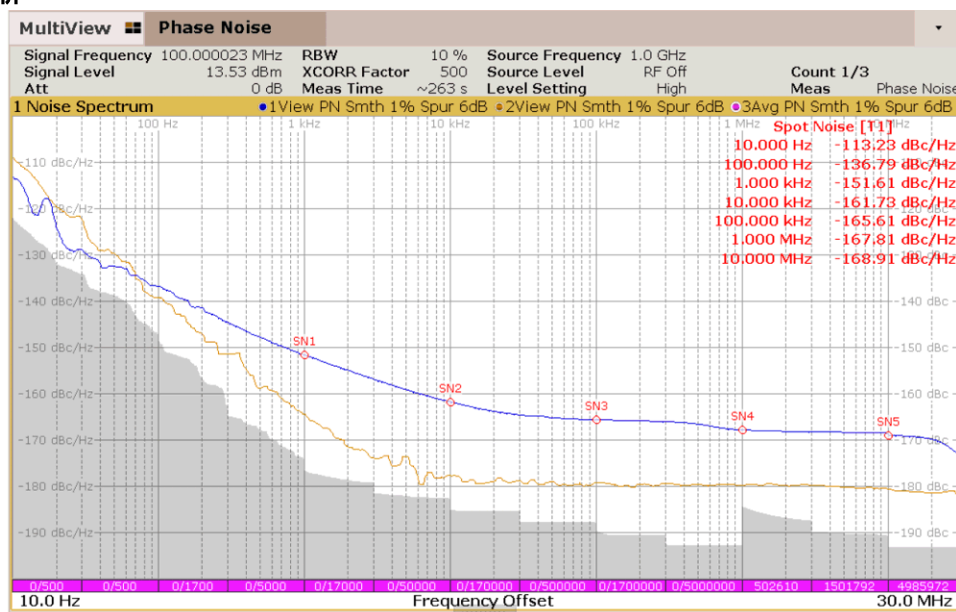


図 5. SMA100B と Wenzel 100MHz の位相ノイズの比較

表 4. アラン偏差の基準比較

タウでのシグマ (アラン偏差)	SMA100B (100MHz)	Wenzel (100MHz)
1msec	4.9e-12	2.1e-12
10msec	1.19e-12	1.5e-12
100msec	2.56e-13	1.44e-12
1sec	3.38e-13	7.36e-12
3sec	6.98e-13	13.6e-12

観察事項

上記のすべての事例は 100MHz で、基準入力用の電力は 10dBm 近くです。ただし、特定の状況では、低コストの実装が理由で、基準周波数は 5MHz や 10MHz のように低くなります。このような場合はスルーレートが低く、PLL ノイズが増加します。図 6 は、LMX2615 で 5MHz の基準を使用した場合です。

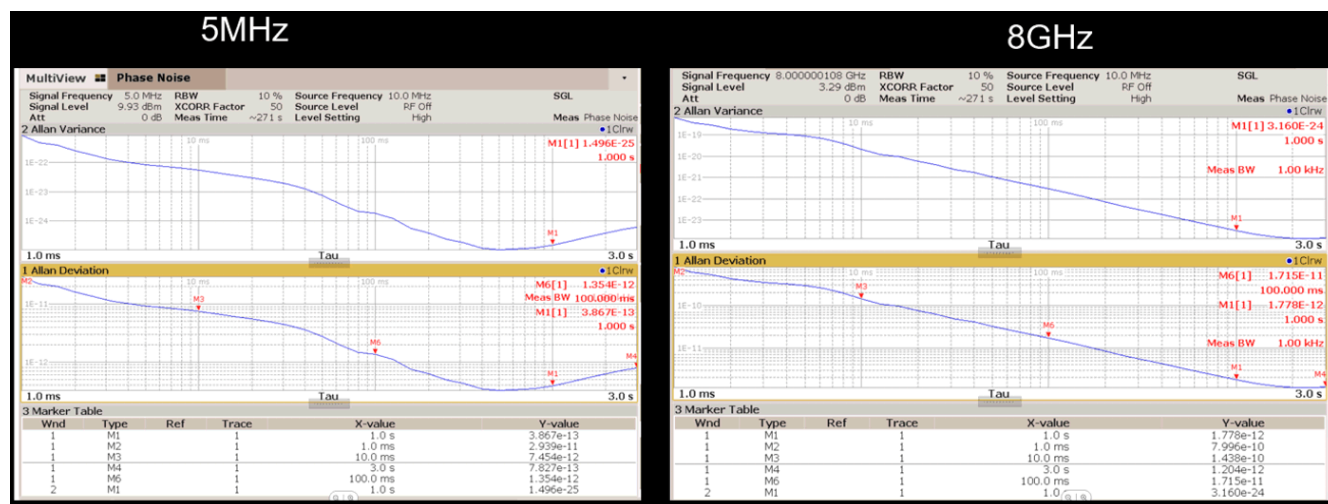


図 6. 8GHz 出力における LMX2615、SMA100B 5MHz 基準

参考資料

1. IEEE, [A Historical Perspective on the Development of the Allan Variances and Their Strengths and Weaknesses](#)
2. Rohde & Schwarz, [Time Domain Oscillator Stability Measurement Allan variance](#), application note.
3. IEEE, [Oscillator Phase Noise: A 50-Year Review](#)
4. Rohde & Schwarz, [R&S FSWP PHASE NOISE ANALYZER Specifications.](#), specifications.

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated