

1. Zurich Instruments社ロックインアンプの基本コンセプト

1.1. FPGAベースのフルデジタルロックインアンプ

[ロックインアンプ原理解説](#)でも説明した通り、ロックインアンプは、測定対象信号に一定周波数の変調をかけ、その変調周波数で、復調することにより、ノイズに埋もれた微弱信号を蘇らせるものです。英語では、**Signal Recovery**と呼ばれています。

Zurich Instruments社 ロックインアンプは、最新のデジタル信号処理技術により、高速・高精度のロックイン検出を実現しています。

Fig1.1は、Zurich Instruments社ロックインアンプの構成コンセプト図です。測定信号入力部（Signal Input）には、高速のアナログ-デジタルコンバータ（ADC）を配置し、測定信号をデジタル化します。デジタル化された測定信号は、装置に内蔵された高性能FPGAにより、デジタルロックイン処理が行われます。

1.2. いまなぜデジタルロックインなのか？ーデジタルロックインの利点と特長ー

ロックイン測定に欠かせない、また最も重要な要素は、**参照信号**と**ローパスフィルタ（LPF）**です。優れたロックイン検出には、優秀な参照信号と、ローパスフィルタ（LPF）が必須です。この二つの要件を理想的に実現するのが、フルデジタルロックインアンプなのです。

Zurich Instruments社ロックインアンプでは、ロックイン検出にとって重要な**参照信号**（Reference Signal）として、機器本体に内蔵された発振器（Oscillator）を使用します。FPGAによりデジタル生成された、高精度の正弦波は、デジタル-アナログコンバータ（DAC）及び高性能アンプにより所定の出力レベルの正弦波として出力されます（Signal Output）。この出力信号を使用して測定信号に変調をかけることで、ロックイン測定を行います。外部の参照信号を使用する場合は、外部参照信号（External Reference Signal）をADCを介してデジタル化し、内蔵されたフェーズロックループ（PLL）により、外部参照信号と周波数及び位相が整合した高精度デジタル正弦波を生成し、これをロックイン検出の内部参照信号として使用します。従来のアナログロックインアンプと大きく異なる点は、ロックイン検出時に外部参照信号をそのまま使用するのではなく、デジタル正弦波を参照信号として使用する点です。これにより、歪みやノイズのない高精度正弦波を参照信号として使用することができ、ロックイン検出信号のSN比が飛躍的に向上します。

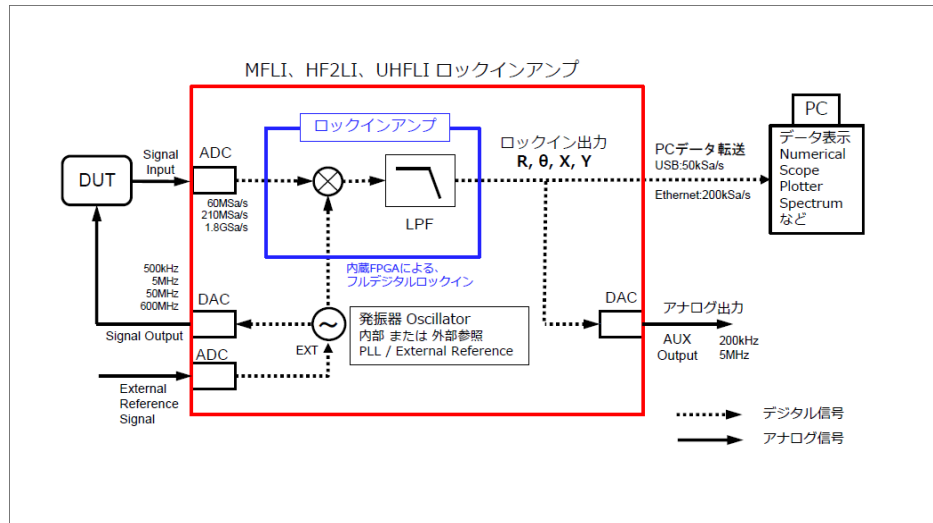


Fig. 1.1 Zurich Instruments社ロックインアンプ構成コンセプト

Fig. 1.2 は、(株)オプトサイエンス所有のファンクションジェネレータと、UHFLI ロックインアンプの内蔵発振器を使用した正弦波出力の、各々の周波数安定性の比較です。オレンジは、ロックインアンプ内蔵発振器、グリーンはファンクションジェネレータ出力です。このように、内蔵発振器が優れた周波数安定性と、周波数精度を持っていることがわかります。この参照信号の精度が、ロックイン検出にとっては重要です。ファンクションジェネレータをロックイン計測にご使用の際は、周波数安定性や周波数分散に注意して機種を選定されることをお勧めします。

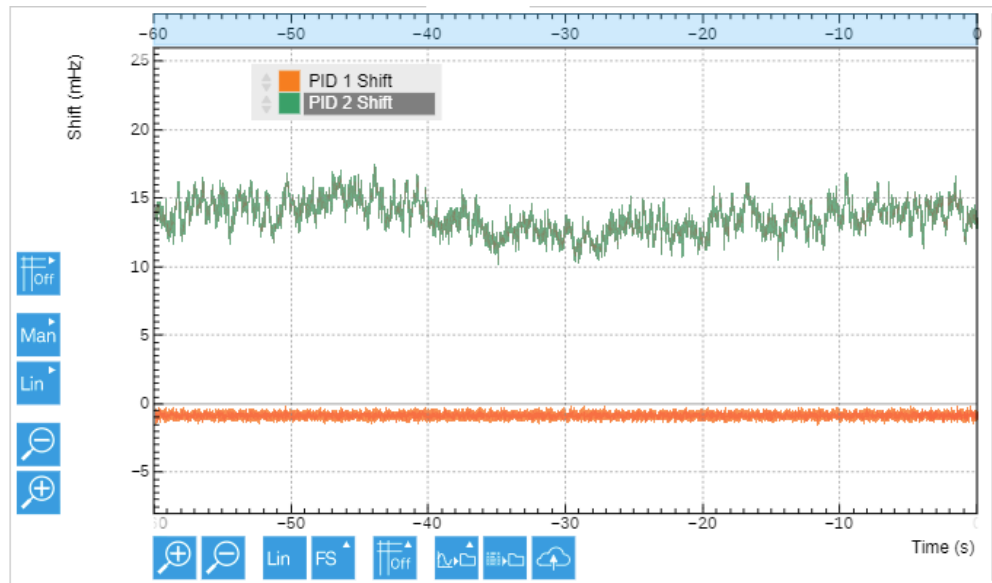
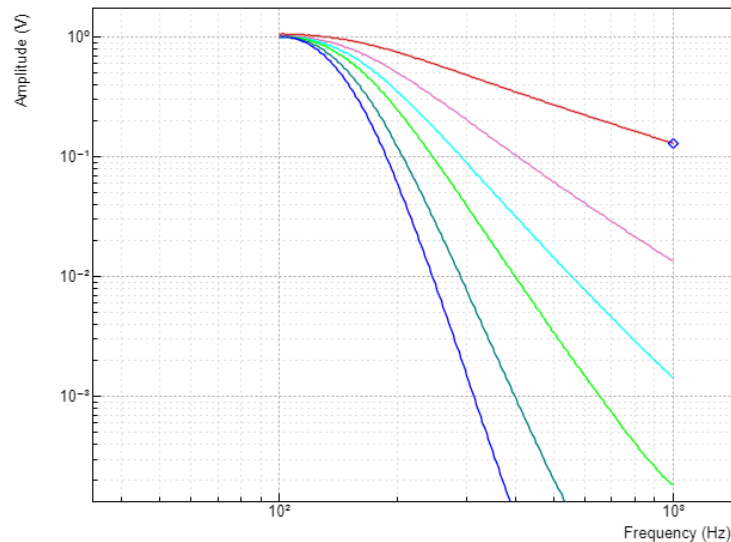


Fig. 1.2 周波数安定性比較 : FG vs 内蔵Osc @10MHz

ロックインアンプにとってもうひとつの重要な要素は、**ローパスフィルタ (LPF)** です。デジタルローパスフィルタは、デジタル式に多段化でき、最大8次 (8段の直列接続) のフィルタでは、48dB/octという急峻なロールオフにより、ロックイン周波数の影響のない、高SN比のロックイン信号を得ること

ができます。（参考：[SN比を高めるLPFセッティングとロックイン周波数の関係](#)）

Fig. 1.3 は、ローパスフィルタ次数によるロールオフの違いです。青は、8次のロールオフの例です。設定周波数の数倍の周波数で、既に十分な減衰が得られているのがわかります。



このように、デジタルフィルタであれば、容易に高次のロールオフを実現することが可能です。アナログ回路では、LPFを8段分回路で実装し、それを切替えてゆく必要があり、現実的ではありません。

もちろん、そのような急峻なロールオフを必要としないアプリケーションであれば、アナログLPFでも十分な場合も数多くあります。

用途や、目的に合った適切なロックイン周波数の選択と、LPFの設定がロックイン検出には重要です。

お手持ちのロックインアンプの設定でお困りのことや、ご質問、ご相談などがございましたら、Zurich Instruments社製、他社製を問いませんので、(株)オプトサイエンスに[こちら](#)から、お気軽にお問合せ下さい。