

高速周波数変調原子間力顕微鏡に向けた広帯域・低雑音な位相同期回路

Wide band and low noise Phase Lock Loop for High-Speed Frequency Modulation Atomic Force Microscopy

阪大基礎工¹ ○大平 司¹, 阿部 真之¹

Osaka Univ.¹ T. Ohira¹, M. Abe¹

E-mail: u147040g@ecs.osaka-u.ac.jp

1. まえがき

周波数変調原子間力顕微鏡 (Frequency Modulation-Atomic Force Microscopy : FMAFM) は非破壊・非接触かつ十分な空間分解能を持ったイメージングシステムであり、様々な環境下で様々な試料の高分解能観察に成功してきた[1-3]. 今後 FMAFM を高速動作させることができれば、非破壊・非接触という特性を活かし理想的な状態で試料の動態観察が可能となる。しかし FMAFM の応答帯域はその復調回路である位相同期回路 (Phase Lock Loop : PLL) によって制限されており高速化が必要である。PLL を FPGA(Field Programmable Gate Array)で実装した場合、計算時間による帯域制限が生じることが報告されている[1]. そこで我々のグループでは IC ディスクリットに PLL を構築することで、スペクトル評価の結果帯域 100 kHz 以上を達成した[4]. PLL の高速化に伴い今後カンチレバー雑音と PLL 雑音の増加が予想される。今回本研究では PLL の高速化に伴う PLL 雑音を測定し低下のための方針を検討したので報告する。なおカンチレバー雑音は水中に限れば qPlus センサー等の高 Q 値のカンチレバーを使用することで低下が見込める。

2. PLL の帯域と雑音の評価

PLL は電圧制御発振器 (Voltage Control Oscillator : VCO) と位相比較器(本研究ではアナログ型ミキサ)と Loop Filter(LF)によって構成されるフィードバックループである。今回、VCO・ミキサ・LF を IC ディスクリット状に構築し PLL の応答速度とその時の雑音を測定した。実験系を Fig.1 に示す。Function Generator(FG)を用いてキャリア周波数 1 MHz, $\Delta f = 5$ kHz, 変調周波数 1 kHz の方形波周波数変調信号を PLL に入力し、復調された信号をキャリア除去用の 500 kHz の LPF を通したのち、オシロスコープで時間波形を測定した。PLL のループゲイン K を増加させていき、応答時間波形から応答帯域を測定した。次に測定した応答帯域と同 K における PLL 内部雑音を測定した。実験結果を Fig.2 に示す。得られた雑音電圧は周波数シフト Δf に換算したものである。応答帯域 120 kHz 相当の時 Δf の雑音レベルは 860 H 相当である。また PLL 内部の雑音をそれぞれ独立・無相関として Scilab により計算を行った結果も同 Fig.2 に示す。実験結果と計算結果はよく一致する。

3. 雑音の検討と今後の展望

PLL の雑音は入力位相雑音・VCO 位相雑音・ミキサ雑音・フィルタ雑音の 4 つが主である。このうちループゲイン K を上昇させたときに増加する雑音は前述と同様の計算を行った結果、入力位相雑音・VCO 位相雑音であった。Spectrum Analyzer を用いて入力位相雑音と VCO 位相雑音の評価を行ったところ入力(FG)位相雑音と VCO 位相雑音はほぼ同一の値であった。

応答帯域 109kHz 時 Δf の雑音レベル=860 Hz という結果は液中での使用を考えると大きな値である。よって液中での FMAFM を用いた動態観察には PLL 雑音の低下を検討する必要がある。前述の検討より入力位相雑音と VCO 位相雑音がともに支配的でそのうち PLL 内部の雑音は VCO 位相雑音であり、PLL を低雑音化するには VCO 位相雑音の低下を検討する必要がある。今後はより位相雑音の低い VCO を導入することで PLL 雑音を低下させていく予定である。なお本研究の PLL は IC ディスクリット状に構築しているため導入にあたり障害は少ないと考えられる。

参考文献

- [1] K.Miyata et al., Belistein J. Nanotechnol.2018 9, pp.1844-1855(2018).
- [2] T. Fukuma et al., Appl. Phys. Lett.86, 034103(2005).
- [3] F. J. Giessibl, Science267, pp.68-71(1995).
- [4] 大平 司他, 春季応物講演会 14a-PB5-6(2020).

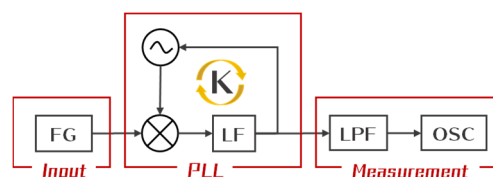


Fig. 1 FM demodulation system by PLL

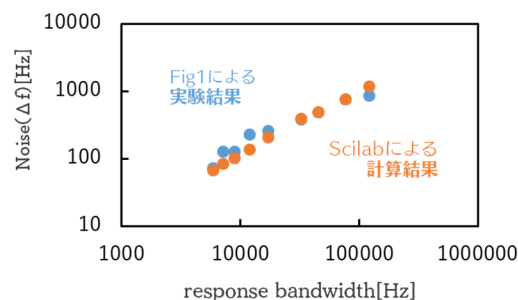


Fig. 2 PLL noise vs. response bandwidth