

周波数変調原子間力顕微鏡の為の広帯域なキャリア再生回路 Wide band Phase-Lock-Loop for 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 : FM-AFM) は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, これまでに多くの分子・半導体等の観察に成功してきた[1,2]. FM-AFM では, 探針-試料間相互作用によって生じたカンチレバーの共振周波数の変化をキャリア再生回路(Phase Lock Loop : PLL)を用いて復調している. 現在, 高感度 ($\Delta f = 1$ Hz を取得可能な感度)な PLL[3,4]あるいは広帯域(復調帯域 100 kHz 以上)な PLL[5]は存在する. しかし今後, 生体分子の動的観察には高感度・広帯域の性能を有する PLL が必要となる. 今回, 広帯域な PLL をディスクリット状に構築し, 帯域と感度の評価を行い, 高感度かつ広帯域な PLL 構築に向けての検討を行ったので報告する.

2. PLL の帯域と感度の評価

構築した PLL の帯域を評価するにあたり, ループゲイン K をロックレンジにより測定した. ロックレンジとは予め入力信号と同期状態にある Low Pass Filter(LPF)を外した PLL に対して入力信号の周波数を変化させたとき, 同期できる周波数範囲上限あるいは下限と自走発振周波数との差を指す. ループゲイン K の PLL のロックレンジは K Hz[6]であり, FM 信号を入力したときの復調帯域は PLL 内の LPF のカットオフ周波数よりも K が小さい場合 K Hz である. 測定の結果ロックレンジ = 145 kHz を得た. 使用した LPF はリード抵抗とセラミックコンデンサで構成されたカットオフ周波数 160 kHz の一次ラグフィルタであるため, 今回構築した PLL の復調帯域は 145 kHz となる.

次に図 1 のような系にて Function Generator(FG)を用いて $\Delta f = 200$ Hz, 変調周波数 = 100 ~ 100k Hz の FM 信号を PLL に入力し, 復調した信号を Spectrum Analyzer(SA)で確認した. なお, 用いた SA の帯域の都合上復調信号を 20 kHz アップコンバージョンし, FG の変調帯域の都合上測定は 100 kHz までとした. 評価した結果を図 2 に示す. なお図 2 の復調周波数はアップコンバージョンする前の周波数である. 図 2 の通り構築した PLL は $\Delta f = 200$ Hz を取得可能な感度であり, ロックレンジで求めた通り帯域 100 kHz 以上と評価された. これにより広帯域な PLL という目標は達成された.

3. まとめと今後の展望

PLL を構築し評価を行ったところ, 帯域 145 kHz $\cdot \Delta f = 200$ Hz を取得できる感度を得た. 今回の PLL では, 広帯域は達成されたが高感度は達成されていない. 今後は PLL の帯域を維持しつつ, より小さい Δf を取得できる感度に向けて改造が必要である.

PLL に変調周波数 $f_m (< K) \cdot \Delta f$ Hz の信号を入力したとき, 復調信号は PLL 内の電圧制御発振器の周波数感度 k_1 Hz/V を用いて $\Delta f / k_1$ V と表される. k_1 を下げることで PLL が高感度化するが, ループゲイン K は k_1 に比例するため, 感度を上げると帯域が下がる. 今後は k_1 を下げつつ K / k_1 を上げることで, K を補償し PLL の帯域を維持しながら高感度化を行う予定である.

参考文献

- [1] D. Katsube *et al.*, Nanotechnology30, 215704 (2019).
- [2] Franz J. Giessibl *et al.*, Science 21 Jul 2000, pp.422-425(2000).
- [3] nanoSurf, easyPLL Reference manual (2002).
- [4] nanonis, SPM Control System OC4.5 Station.
- [5] K. Miyata *et al.*, Beilstein J. Nanotechnol. 2018, 9, pp.1844-1855 (2018).
- [6] 畑雅恭・古川計介, "PLL-IC の使い方", 秋葉出版(1991).

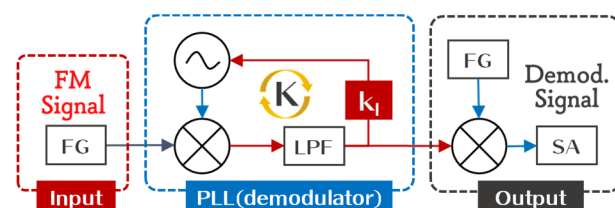


Fig. 1 FM demodulation system by PLL

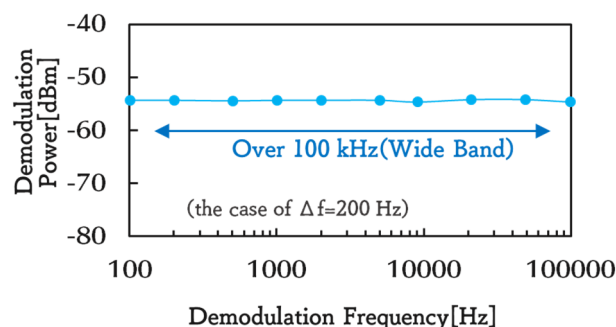


Fig. 2 Demodulation power vs. demodulation frequency