

計測帯域を自由に調整可能な周波数カウンタ

Bandwidth-tunable frequency counter

産総研計量標準

○穀山 渉、服部 浩一郎

NMIJ/AIST, °Wataru Kokuyama, Koichiro Hattori, E-mail: wataru.kokuyama@aist.go.jp

光周波数メトロロジーにおいて、基準 RF 信号に位相ロックした光ビート信号のアラン偏差を算出し、1 秒程度のタイムスケールでの揺らぎを評価することがある。位相ロックした信号は、白色または高周波成分（位相ロックの制御帯域以上）が大きい位相雑音特性を持っていることが多い。このとき、一般的な周波数カウンタの帯域は MHz 以上と広いので、エリアシングの影響を受け、調べたい 1 Hz 付近の特性が十分に反映されない問題点がある。この問題に対処するため、ラムダ型カウンタ[1]や修正アラン偏差[2]などの工夫がある。いずれの手法も、本質的には計測帯域を制限するローパスフィルタ (LPF) の挿入と同義である。しかしこれらでは 2 次など弱い特性しか得られないうえ、周波数のデータ列に対して処理を行うため、白色位相雑音（周波数雑音はその微分のため、周波数に比例して大きくなる）などの位相ロックした信号には十分でないことも多い。

我々は、新しい位相計測アルゴリズム [3] を FPGA に搭載した新型デジタル位相計を開発してきた[4]。これは入力信号の位相を等間隔かつ高速に算出できることが一つの特長である。それを利用し、位相計測値に対してアンチエリアシング LPF をかけ、その後微分処理により周波数に変換すれば、より理想的に近い帯域制限ができる周波数カウンタが実現する。帯域制限によって、白色位相雑音で制限されていることが多い自己雑音レベルが低減する（周波数カウンタとしての分解能が向上する）というメリットもある。

本周波数カウンタの計測能力を評価するため、自己雑音レベルを図 1(a)に示すセットアップで測定した。その結果、図 1(b)のように、ゲートタイム 1 秒 (0.7 Hz ローパスフィルタによって帯域制限) において、1 μ Hz 未満の標準偏差を実現できた。これは既存の周波数カウンタ (図 1(c) 赤丸) に比べ 100 倍以上の分解能向上である。また図 1(d)の自己雑音スペクトルからバンド幅を様々に設定した時の自己雑音レベルが推定できる。このように本周波数カウンタは、位相ロックした信号の安定度評価や、 μ Hz オーダの極めて小さな線幅を評価したい場合などの新たなツールとなる可能性がある。本講演ではそれらの詳細について解説する。

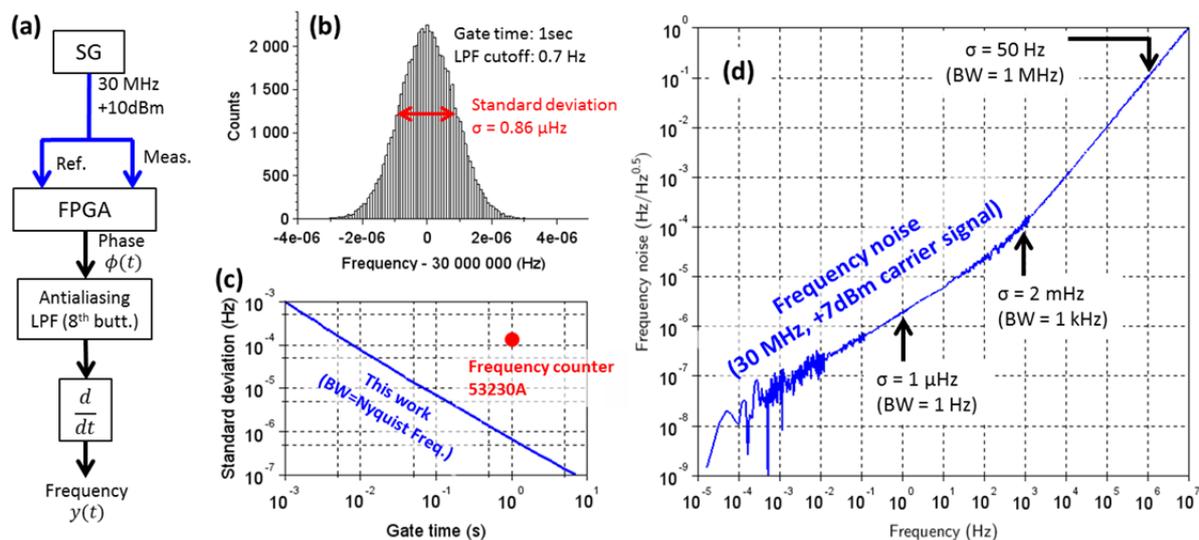


図 1. (a)自己雑音レベルの測定セットアップ (b) 測定結果のヒストグラム (c) ゲートタイムおよび計測帯域を変化させた時の自己雑音（標準偏差で表記）の変化 (d) 自己雑音のパワースペクトル

謝辞 野里英明氏、大田明博氏、大久保章氏、稲場肇氏、大苗敦氏（以上産総研）、小池彰氏（システムインフロンティア(株)）に謝意を表します。本研究は静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業費補助金の支援を受けました。

参考文献 [1] E. Rubiola, Rev. Sci. Inst. 76 054703 (2005). [2] D.W. Allan, et al. 35th Annual Frequency Control Symposium (1981) [3] W. Kokuyama, et al., Meas. Sci. Tech., 27, 085001 (2016). [4] 穀山他, 応用物理学会 2017 年春季学術講演会 (2017).