

矩形波信号を利用したサブサンプリング位相比較器の検討

A Consideration of Sub-Sampling Phase Detector for Square-wave Signals

上野 智大
Tomohiro Ueno

岡田 健一
Kenichi Okada

松澤 昭
Akira Matsuzawa

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理学専攻
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

ループ帯域内の位相雑音を低減するための手法として Sub-Sampling PLL(SSPLL) が提案されている [1][2]。SSPLL は分周器を介さないループにより位相ロック状態を維持する手法であり、従来位相差の検出には VCO 出力の正弦波電圧が利用されていた。

本研究では、VCO の出力周波数が高く直接位相差の検出をすることが難しいという理由から、分周した後の信号を位相差の検出に利用した。その際の問題点及び解決策を述べ、シミュレーションによる特性の確認を行った。

2 位相比較器の構成及び特性

図 1 に Sub-Sampling Phase Detector の回路構成を示す。この位相比較器はサンプリングを利用して位相差を電位差へと変換する。今回のように分周器やバッファを介して信号が入力される場合、信号が矩形波であるため位相に対する電圧変化が急峻である。そのため位相ロック状態を維持するために必要な範囲で変換利得を得ることができない。そこで今回 RC 回路を挿入し波形を鈍らせることによって位相差の検出範囲を広げた (図 2)。図 3 に位相差対電位差の特性を示す。図 3 をみると目的の特性が得られていることがわかる。

3 伝達関数と位相雑音

この位相比較器を用いた場合、図 3 の Ideal locking point において位相がロックすると考えられる。よってその近傍を直線近似することにより伝達関数は以下のように計算される。

$$K_{PD} = \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{A}{\tau_{RC}} \quad (1)$$

ここで T は入力信号の周期、 A は振幅、 τ_{RC} は時定数である。

今回出力周波数 21.6 GHz、参照周波数 36 MHz の PLL に対して、20 分周後の 1.08 GHz を利用して位相差検出を行い、図 4 に示す SSPLL を構成した。Spectre による PNoise 解析の結果と伝達関数による計算から、ループ帯域内において支配的となる位相比較器やチャージポンプに起因する位相雑音は -93.7 dBc/Hz (@10 kHz offset) となり、SSPLL を用いない場合と比べて 15 dB 程の改善が見られた。

4 まとめ

矩形波の信号を利用して位相差を電位差へと変換する方法について示し、実際に目的の特性が得られることをシミュレーションにより確認した。

伝達関数の計算とシミュレーション結果から、ループ帯域内位相雑音の低減において十分な効果が得られることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』、総務省 SCOPE、科学研究費補助金、半導体理工学研究センター、キャノン財団、並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社およびアジレント・テクノロジー株式会社の協力で行われたものである。

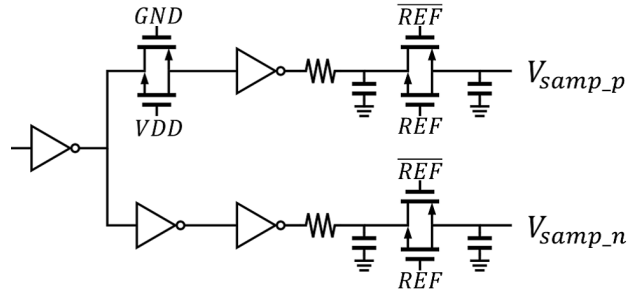


図 1 SSSPD 回路図

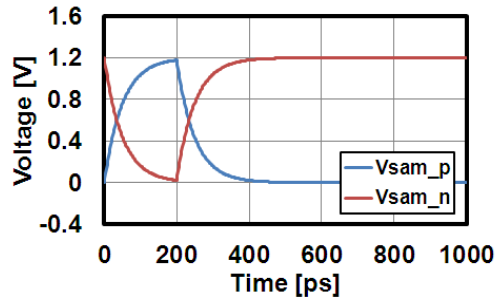


図 2 位相比較器の特性

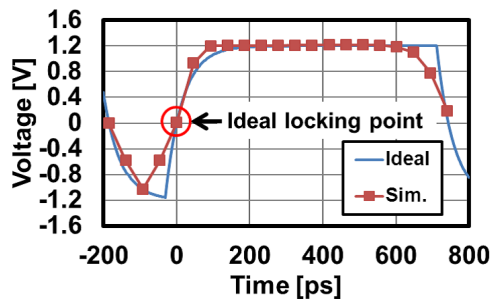


図 3 位相比較器の特性

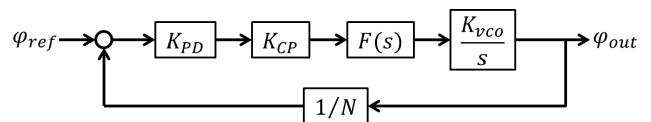


図 4 SSPLL ブロック図

参考文献

- [1] X. Gao, et al, "A Low Noise Sub-Sampling PLL in Which Divider Noise is Eliminated and PD/CP Noise is Not Multiplied by N^2 " *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 44, no. 12, pp. 3253-3263, Dec. 2009.
- [2] X. Gao, et al, "Spur Reduction Techniques for Phase-Locked Loops Exploiting A Sub-Sampling Phase Detector" *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 45, no. 9, pp. 1809-1821, Sep. 2010.