

多分周による電圧制御発振器の低位相雑音化の検討

Design Space Exploration of Low-Phase-Noise LC-VCO Using Multiple-Divide Technique

原翔一
Shouichi Hara

伊藤 猛
Takeshi Ito

岡田 健一
Kenichi Okada

松澤 昭
Akira Matsuzawa

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

1 はじめに

近年の Si CMOS プロセス技術の向上により、より高い動作周波数の電圧制御発振器 (VCO) の設計が可能となった。VCO の性能のひとつである位相雑音は VCO に用いるインダクタの性能に依存する。位相雑音特性が最良となるインダクタの構造は周波数ごとに大きく異なる。本発表では分周器を用いることにより FoM の改善が見込まれる条件を検討する。

2 分周器を使うべき条件

VCO の位相雑音は以下の式で与えられる [1]。

$$\mathcal{L}(f_{\text{offset}}) = 10 \log \left[\frac{2kT}{P_{\text{sig}}} \left(\frac{f_0}{2Q_L f_{\text{offset}}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

上式の k はボルツマン定数、 T は絶対温度である。 P_{sig} は共振器の損失、 f_0 は VCO の発振周波数、 f_{offset} はオフセット周波数である。 Q_L はインダクタの Q 値である。LC 型共振器においてはインダクタの Q 値と共振器の Q 値はほぼ等しい。図 1 は各周波数で Q 値が最大となるインダクタの Q 値とインダクタンスである。図 1 からわかるように Q 値が大きくなるとインダクタンスが小さくなる傾向がある。そこでインダクタの性能が一番出やすい周波数で VCO を設計し、その出力を分周器で N 分周し所望の周波数の信号を得ることによって、分周器を用いない場合の VCO より FoM がよくなる可能性がある。一般に VCO の性能指標として FoM (Figure of Merit) がある。

$$FoM = \mathcal{L}(f_{\text{offset}}) - 20 \log \left(\frac{f_0}{f_{\text{offset}}} \right) + 10 \log \left(\frac{P_{\text{total}}}{1 \text{mW}} \right) \quad (2)$$

上式の P_{total} は VCO 本体と分周器をあわせた消費電力である。VCO に分周器を用いる場合、分周器の消費電力を考慮しなければならない。分周器の消費電力を考慮した FoM が改善される条件は

$$\frac{P'_{\text{VCO}} + P_{\text{divider}}}{P_{\text{total}}} < \frac{Q'_L L}{N Q_L L'} \quad (3)$$

となる。

3 シミュレーション結果

図 2、3 で示した回路を設計し、シミュレーションを行った。図 4 はその結果である。VCO 単体の FoM が一番よくなる周波数を N 分周することにより各周波数で動作する通常の VCO と比べて FoM の改善が実現できる。

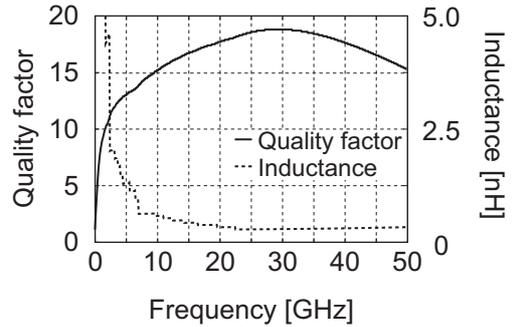


図 1 各周波数で最大となる Q 値とそのインダクタンス。

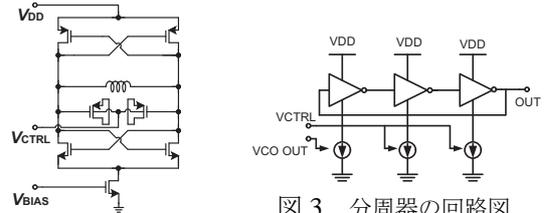


図 2 VCO の回路図。

図 3 分周器の回路図。

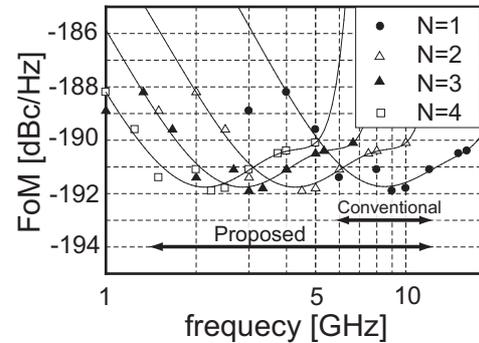


図 4 N 分周した場合の FoM の比較。

4 まとめ

本発表では VCO をインダクタの性能が最も高い周波数で動作させ、出力を分周した場合について FoM が改善する条件を検討した。またシミュレーション結果から実際に FoM が改善することを確認した。

5 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』、日本学術振興会科学研究費補助金、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じ、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。

参考文献

- [1] A. Hajimiri and T. H. Lee, "A general theory of phase noise in electrical oscillators," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 33, no. 2, pp. 179–194, Feb. 1998.