

LC型電圧制御発振器のQ値に対するレイアウト時の寄生成分の影響についての検討

Layout Optimization for LC Voltage Controlled Oscillators

山口 達也 村上 壘 岡田 健一 松澤 昭
Tatsuya Yamaguchi Rui Murakami Kenichi Okada Akira Matsuzawa

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

1 まえがき

LC型電圧制御発振器 (LC-VCO) の性能を評価する際に一般的に用いられる指標として Figure of Merit (FoM) があるが、FoM の向上には共振器の Q 値を大きくする必要があり、今回、LC-VCO をレイアウトする際に寄生成分が共振器の Q 値に与える影響について報告する。寄生成分として配線抵抗を考えたとき、インダクタの直近から容量、クロスカップルトランジスタの順に配置するレイアウトが Q 値を最も大きくすることを数値計算および $0.18\ \mu\text{m}$ Si CMOS プロセスのデータを用いたシミュレーションにより示した。

2 回路および寄生成分のモデル化と Q 値の計算手法

配線が長い部分には寄生抵抗 R_p がつくとし、レイアウト上配線が長くなる部分を考慮した LC 共振器の等価回路モデルは、図 1 に示すような R_p のつき方が異なる 3 通りが考えられる。ここで L 、 C はそれぞれインダクタンス、容量であり、 L の寄生成分として寄生抵抗 R_L 、寄生容量 C_L 、 C の寄生成分として漏れコンダクタンス G_C をそれぞれ考えた。容量 C_{tr} はクロスカップルトランジスタによって生じる寄生容量である。

共振器の Q 値は $Q = \frac{1}{1/Q_L + 1/Q_C}$ (Q_L はインダクタの、 Q_C は容量の Q 値) として求められる。図 1 の各モデルにおいて $Q_L = \omega L/R_L$ 、発振角周波数 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ は共通であるとして Q を求めた。

3 解析結果

各パラメータの値を表 1 のように定めた。 R_p を変化させたときの Q 値の計算結果 (Q^{calc}) と回路シミュレーションによる結果 (Q^{PDK}) を図 2 に示す。シミュレーションでは、 $0.18\ \mu\text{m}$ Si CMOS の素子モデル (PDK) を使い、 $Q^{\text{PDK}} = \frac{\omega}{2} \left| \frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \omega} \right|_{\omega_0}$ として求めた [1]。 Q^{PDK} から FoM を $FoM = 10 \log_{10} \left(\frac{10^3 \pi F k T}{4 Q^2} \right)$ [2] として求めた結果を図 3 に示す。ここで $F = 5/3$ はノイズファクター、 $k = 1.380 \times 10^{-23} [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$ はボルツマン定数、 $T = 300 [\text{K}]$ は絶対温度である。配線抵抗のつき方によって FoM に差があることが確認できた。

4 まとめ

LC-VCO のレイアウト時の寄生成分として、配線抵抗が発振器の Q 値に与える影響について解析を行い、Q 値を最も大きくするレイアウトを示した。

今後の課題として、インダクタや容量のモデル、寄生

成分などをさらに詳細に検討すること、Q 値以外の特性に対する寄生成分の影響を解析することなどが挙げられる。

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』、科学研究費補助金、半導体理工学研究センター、NEDO、キヤノン財団、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] T. Ohira, *et al.*, *IEEE TCAS-II*, Dec. 2005.
- [2] P. Kinget, *et al.*, Kluwer, 1999.

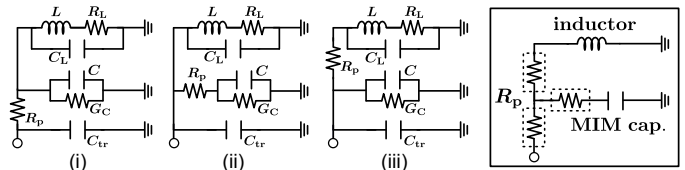


図 1 寄生抵抗 R_p を含む LC 共振器の等価回路モデル

表 1 各パラメータの値

パラメータ	L [pH]	R_L [Ω]	C_L [fF]	C [pF]	G_C [S]	C_{tr} [fF]
値	165	0.65	18.0	1.29	0.002	40

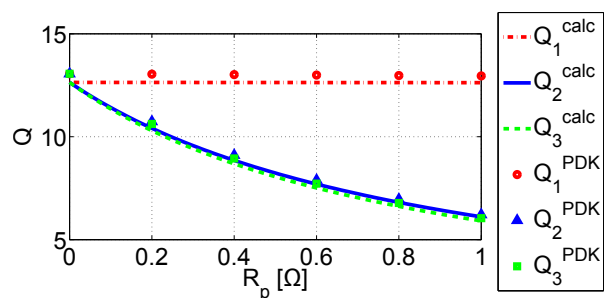


図 2 R_p の変化に対する Q 値の変化

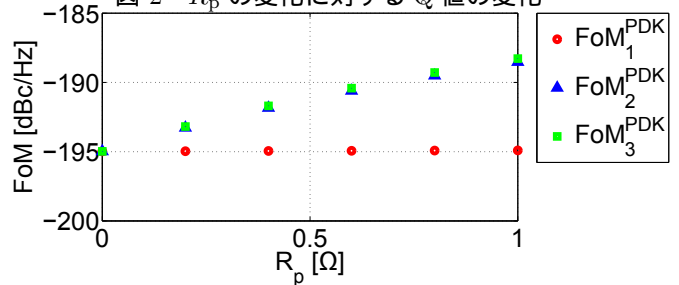


図 3 R_p の変化に対する FoM の変化