

周波数可変範囲を考慮した LC 型電圧制御発振器の性能指数の定義

A New Figure of Merit of LC Oscillators Considering Frequency Tuning Range

佐藤 高洋 岡田 健一 松澤 昭
Takahiro Sato 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 はじめに

発振器は無線機の搬送波やクロック信号の発生に欠かせない回路部品である。発振器の性能評価のため、性能指標 FoM がしばしば用いられる。異なる周波数や異なる離調周波数の位相雑音や、消費電力の差を評価するためである。一方、近年の無線技術の発展に伴い、幅広い周波数帯域が用いられるようになっており、そのため、周波数可変範囲の広い発振器が求められている。この広周波数可変な発振器の評価において、従来の FoM は十分なものではなく、周波数可変範囲 (FTR) の考慮が必要である。FTR が大きくなると、位相雑音が劣化するため、その効果を考慮する必要がある。本発表では、FTR の影響を考慮した FoM_L を提案する。

2 FoM と共振器の Q 値の関係

発振器の性能指標 FoM は以下の式で定義される。

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

ここで、 $\mathcal{L}(f_{\text{offset}})$ は位相雑音、 f_0 は発振周波数、 f_{offset} はオフセット周波数、 P_{DC} は消費電力である。また、位相雑音は 1Hz 帯域あたりの雑音電力と信号電力の比で定義され、LC 型発振器の場合、下記の関係が導かれる [1]。

$$\mathcal{L}(f_{\text{offset}}) = 10 \log \left[\frac{2FkT}{P_{\text{sig}}} \frac{f_0^2}{4Q^2 f_{\text{offset}}^2} \right] \quad (2)$$

k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 P_{sig} は信号電力、 F は device excess noise number と呼ばれる定数で、 Q は共振器の Q 値である。これを式 (1) に代入して整理すると、以下の式を得る。

$$\text{FoM} = 10 \log \left[\frac{FkT}{2 \text{mW}} \frac{P_{\text{DC}}}{P_{\text{sig}} Q^2} \right] \quad (3)$$

この式から、FoM は P_{DC} 、 P_{sig} 、 Q の 3 つの値で決まることが分かる。このうち、 $P_{\text{DC}}/P_{\text{sig}}$ は回路構成で決定されるため、最終的に FoM は Q 値によってのみ決まる。

3 定義

LC 型電圧制御発振器 (LC-VCO) は、キャパシタの Q 値がインダクタの Q 値より十分高い時、共振器の Q 値に関して $Q = (2\pi fL)/R$ が成り立つ。また $FTR = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}})/f_{\text{center}}$ で定義される。これらの式から、中心周波数における Q 値、すなわち $Q(f_{\text{center}})$ は、以下のように表すことができる：

$$Q(f_{\text{center}}) = \frac{Q(f_{\text{max}})}{1 + \frac{FTR}{2}} \quad (< Q(f_{\text{max}})) \quad (4)$$

つまり中心周波数における性能評価指数 FoM_{center} は FTR が広いほど劣化する。この Q 値の劣化分を考慮する事で、FTR のパラメータを取り入れた性能評価指数 FoM_L を以下のように定義出来る。

$$\text{FoM}_L = \text{FoM}(f_{\text{center}}) - 20 \log \left(1 + \frac{FTR}{2} \right) \quad (5)$$

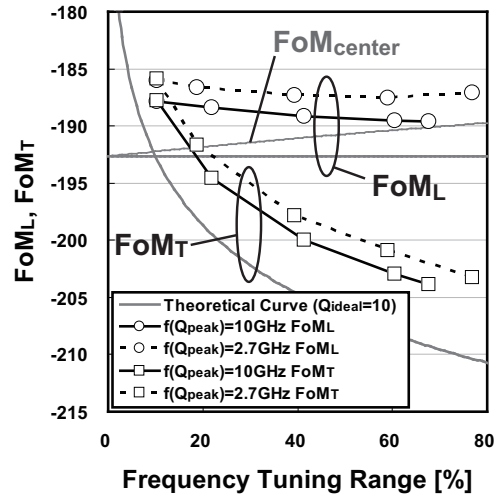


図 1 シミュレーション結果

4 シミュレーション結果

FoM に周波数帯域幅 FTR を考慮した従来の性能評価指数 FoM_T は以下のように定義される [2]。

$$\text{FoM}_T = \text{FoM}_{\text{peak}} - 20 \log \left(\frac{FTR}{0.1} \right) \quad (6)$$

FoM_{peak} は、元々の論文では明確に定義されていないが、通例、全周波数帯域のうち最良の FoM で定義される。新しく定義した FoM_L と従来の FoM_T を比較するために、NMOS クロスカップル型 VCO を用いてシミュレーションを行った。0.18μm CMOS プロセスのパラメータを用いた。インダクタには Q 値が最大値をとる周波数が 10GHz のものと 2.7GHz のものの二つを用いた。そして理想素子のキャパシタを用いて FTR を変化させ、その際劣化した FoM を確認した。その結果と理論曲線を図 1 に示す。FoM_L は FTR に関係なくほぼ一定の数値を示しており、FTR を広げた時に生じる FoM の劣化を考慮できている。一方、FoM_T は FTR を広げるほど、過大に高性能な評価となる。

5 まとめ

LC 型電圧制御発振器の周波数帯域幅 FTR を考慮した新しい性能評価指数 FoM_L を定義した。シミュレーションを行った結果、従来の指数 FoM_L よりも公平に評価ができていた事を確認した。

謝辞

本研究の一部は、総務省、総務省 SCOPE、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] A. Hajimiri, et al., JSSC, pp.179-194, 1998.
- [2] J. Kim, et al., ISSCC, pp.416-417, 2005.