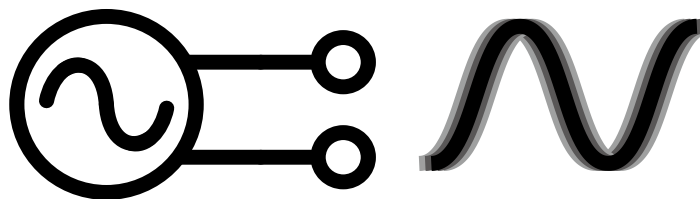


周波数可変範囲を考慮した LC型電圧制御発振器の性能指数の定義

◎佐藤 高洋, 岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学大学院理工学研究科
電子物理工学専攻

- 研究背景
- FTRと発振器の関係
- 新性能指数の定義
- 従来との比較結果
- まとめ



周波数？
ノイズ？
消費電力？

性能指数の定義式

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

\mathcal{L} :位相雑音

P_{DC} :消費電力

f_0 :発振周波数

f_{offset} :オフセット周波数

ある一点の出力周波数における性能指数



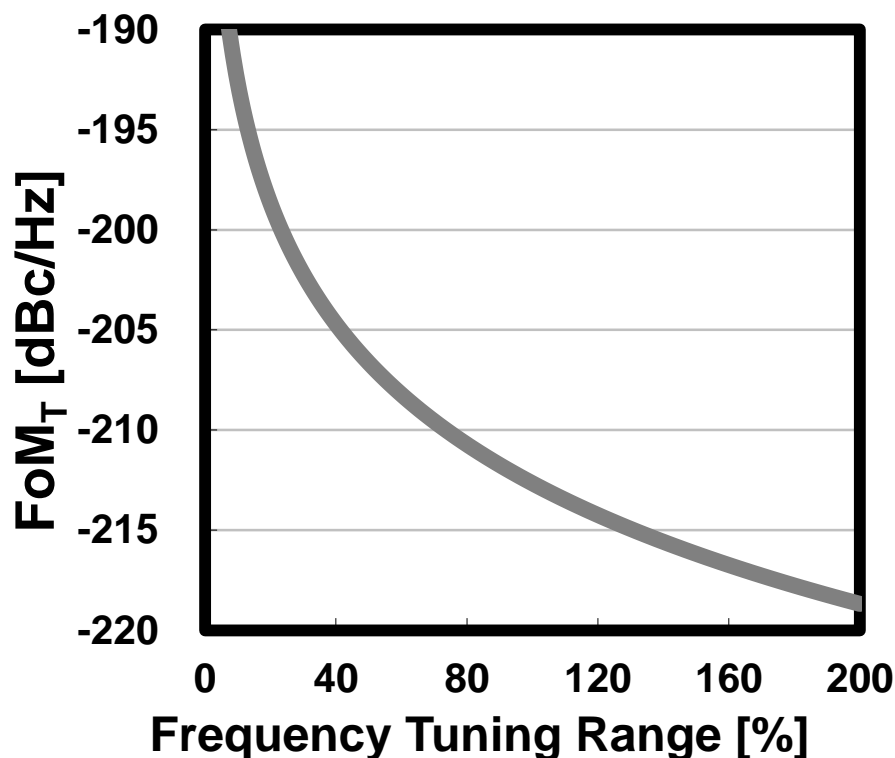
周波数帯域幅(FTR)が含まれていない

[1] P.Kinget 1999

従来のFTRを含む性能指数

$$\text{FoM}_T = \text{FoM}_{\text{peak}} - 20 \log_{10} \left(\frac{\text{FTR}}{0.1} \right) \quad [2]$$

$$\text{FTR} = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) / f_{\text{center}}$$



例)

FTR=0[%] ⇒ FoM_T=+∞ [dBc/Hz]

FTR=4[%] ⇒ FoM_T=-184[dBc/Hz]

FTR=12[%] ⇒ FoM_T=-194[dBc/Hz]

差分:10[dBc/Hz]

etc.

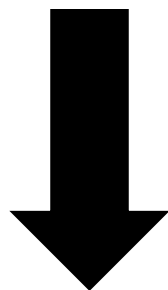
性能指数として公平でない



新しい性能指数が必要

[2] J.Kim, et al., ISSCC 2005

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



$$\mathcal{L}(f_{\text{offset}}) = 10\log_{10}\left[\frac{2FkT}{P_{\text{sig}}}\frac{f_0^2}{4Q^2f_{\text{offset}}}\right] \quad [3]$$

を代入

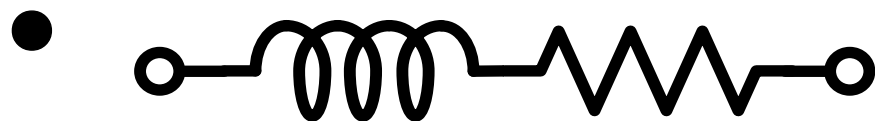
$$\text{FoM} = 10\log_{10}\left[\frac{FkT}{2\text{mW}}\frac{P_{\text{DC}}}{P_{\text{sig}}Q^2}\right]$$

F : device excess noise number
 k : ボルツマン係数
 T : 絶対温度
 P_{sig} : 信号電力
 Q : 共振器のQ値

周波数10GHz以下程度において、
キャパシタのQ値はインダクタのQ値よりも十分に高い

$$Q = \frac{Q_L \cdot Q_C}{Q_L + Q_C} \approx Q_L$$

LC型発振器の性能はインダクタのQ値で決まる



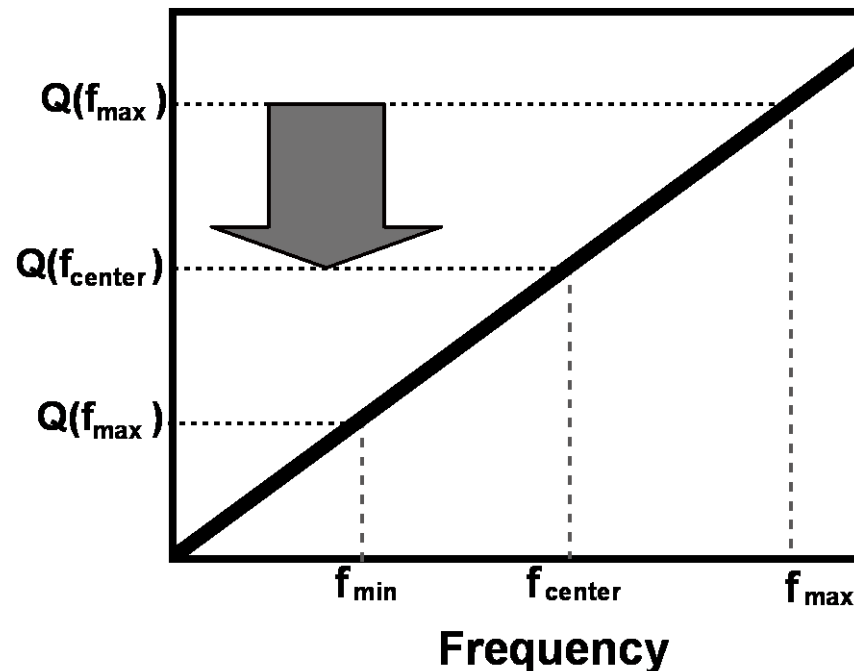
L R_L :内部抵抗

$$Q_L = \frac{2\pi fL}{R_L}$$

● FTRの定義式

$$FTR = (f_{\max} - f_{\min}) / f_{\text{center}}$$

Quality factor



$$\therefore Q(f_{\max}) = Q(f_{\text{center}}) \cdot \left(1 + \frac{FTR}{2}\right)$$

最大Q値は、中心周波数のQ値とFTRで表せられる

FoMにおいて、
Q値を中心周波数とFTRの式に変えた式として、
新しい性能指数を定義

$$\text{FoM}_L \equiv 10 \log_{10} \left[\frac{FkT}{2\text{mW}} \frac{P_{\text{DC}}}{P_{\text{sig}} \cdot \left\{ Q(f_{\text{center}}) \cdot \left(1 + \frac{\text{FTR}}{2} \right) \right\}^2} \right]$$

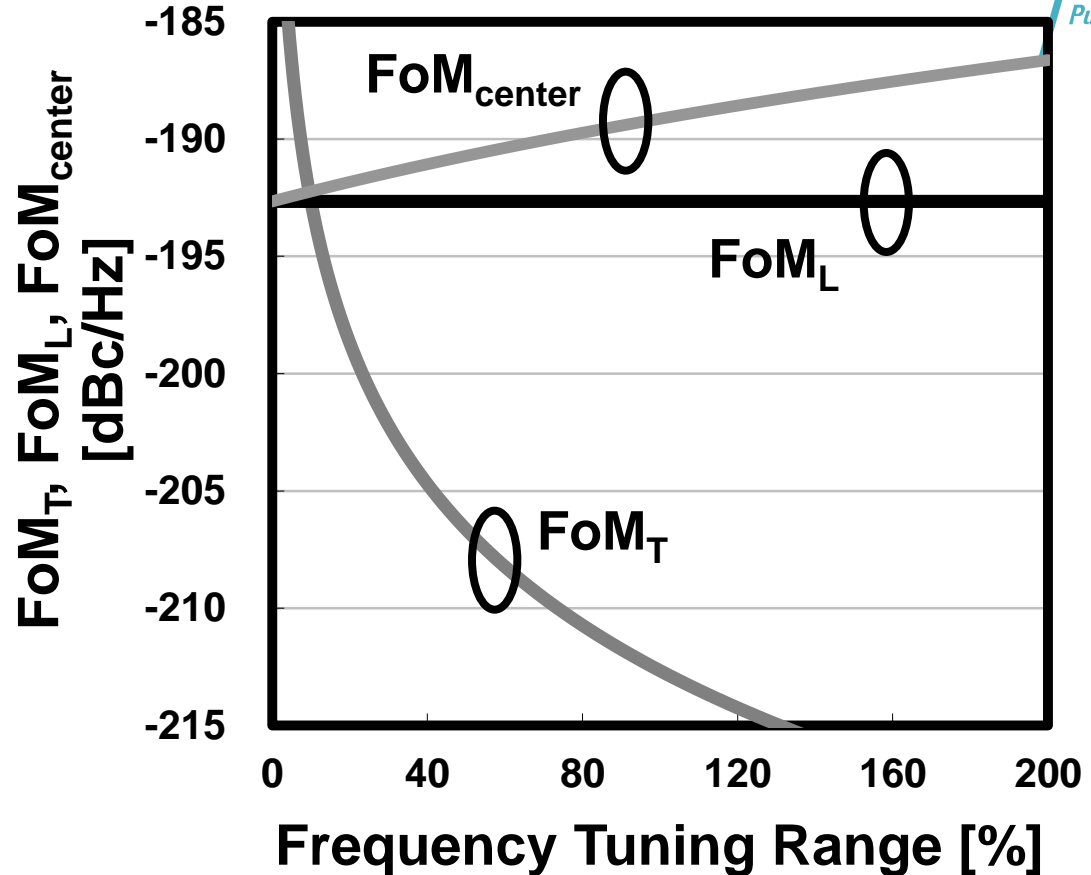


$$Q(f_{\text{max}})$$

FTRを考慮した性能指数

$$\text{FoM}_L = \text{FoM}(f_{\text{center}}) - 20 \log_{10} \left(1 + \frac{\text{FTR}}{2} \right)$$

$$Q(f_{\max}) = 10$$
$$T = 300[\text{K}]$$
$$F = 1 + 2/3$$



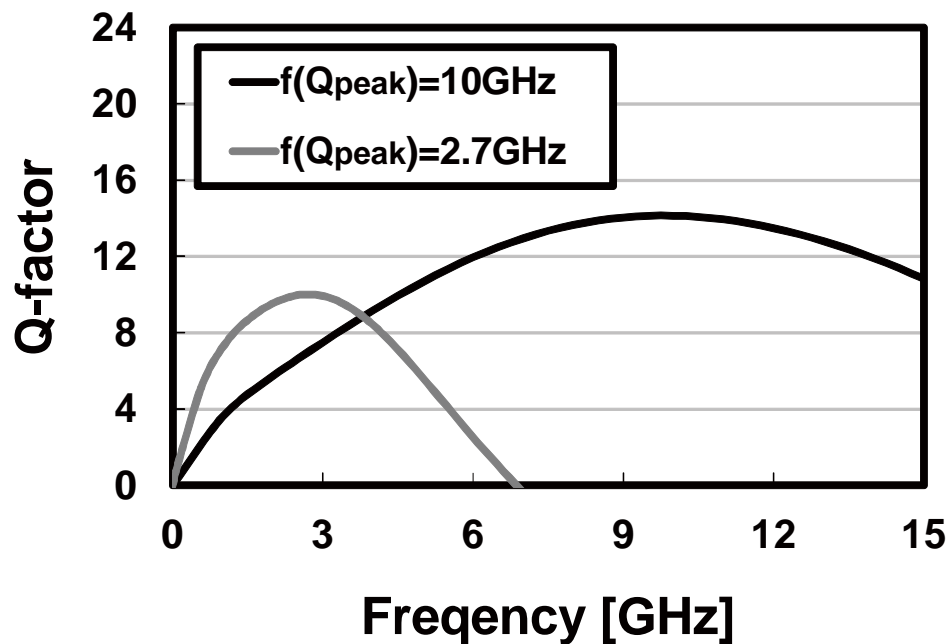
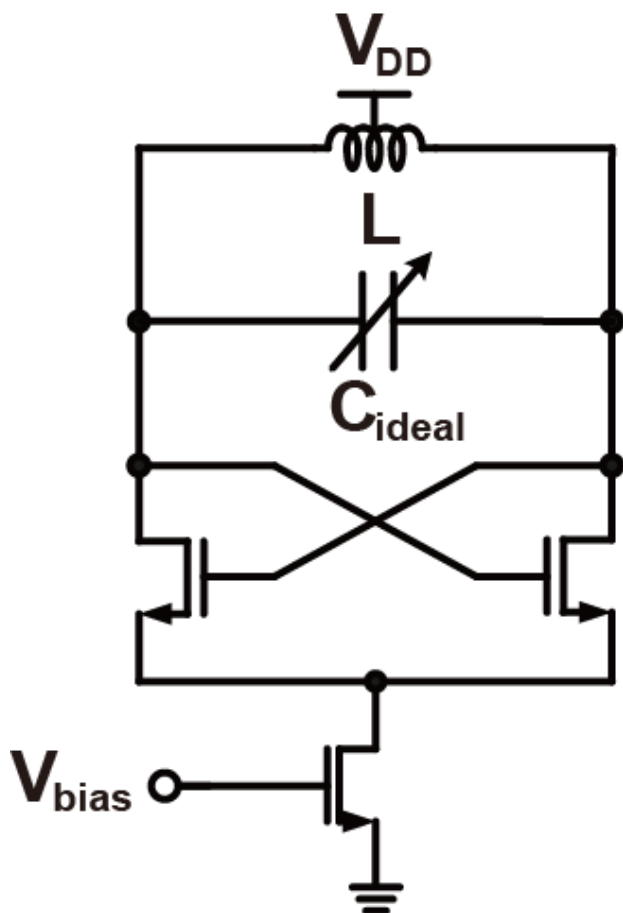
FTRを広くした時:

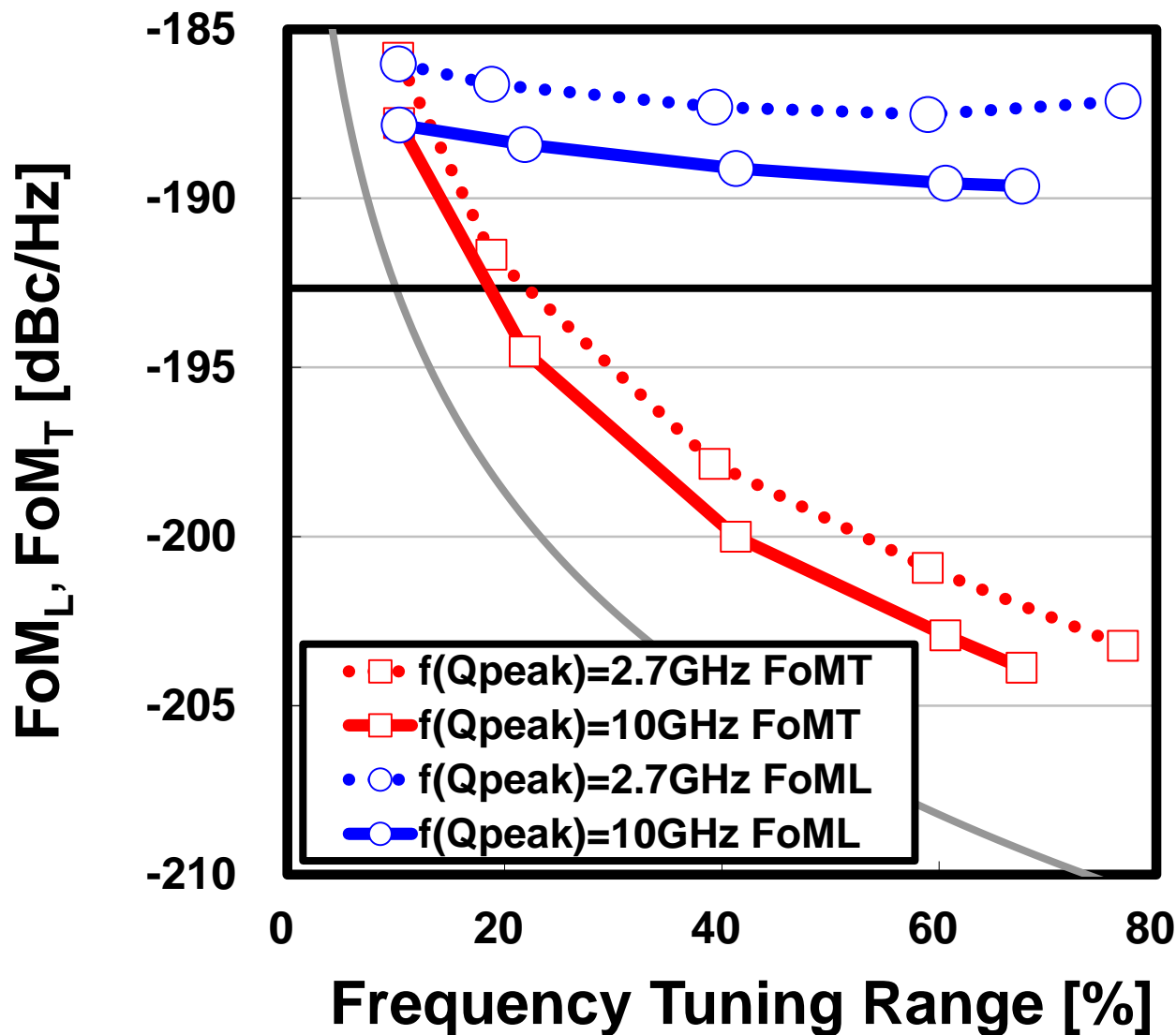
- ・FoM_L: 変化なし → 公正な比較
- ・FoM_T: 大きく改善 → FTRが広い程有利な評価

- ・0.18 μm プロセス
- ・NMOSクロスカップル
- ・キャパシタは理想素子

・インダクタのスペック

	Inductor 1	Inductor 2
Inductance [nH]	1.77	5.23
Freq of Q_{peak} [GHz]	10.1	2.7
Q_{peak}	14	11





理論曲線と傾向が一致

- 周波数帯域幅(FTR)を考慮した電圧制御発振器の性能指数を新しく定義した。
- 定義した性能指数 FoM_L が従来の性能指数より公正な指数であると、理論計算とシミュレーションで確認した。