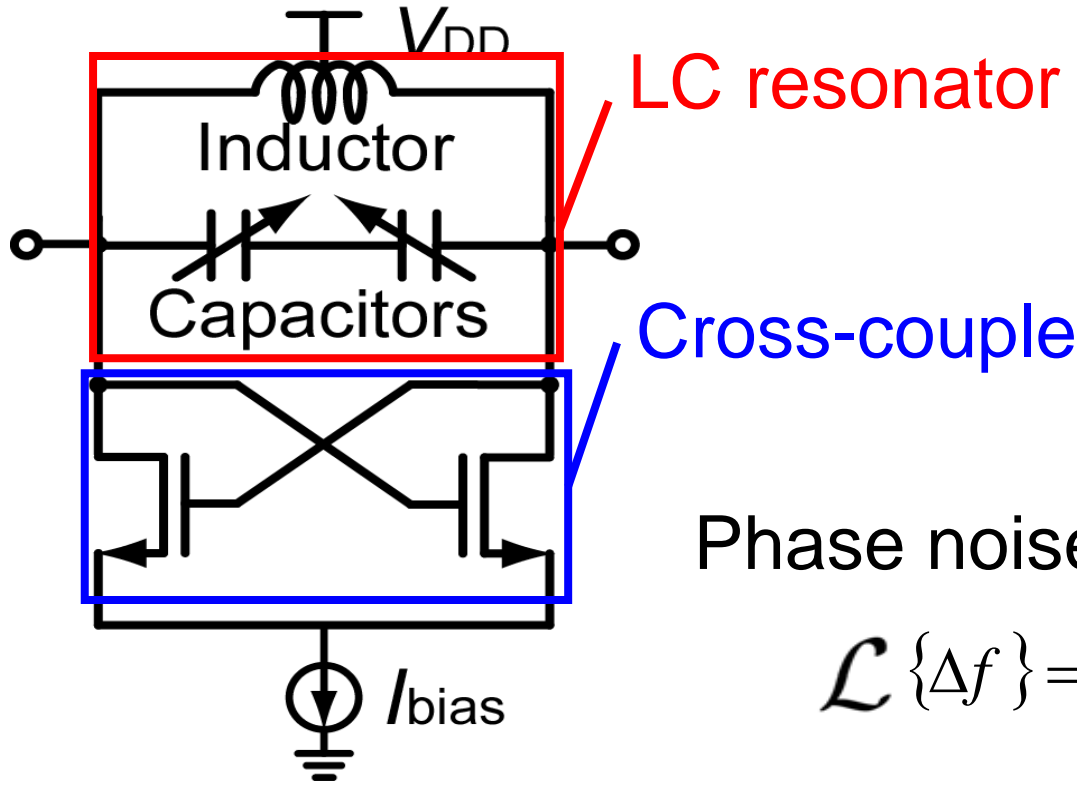


トランジスタの寄生容量を考慮した 電圧制御発振器の最適設計手法の検討

○村上 壘, 原 翔一, 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

- 背景
- スイッチトキャパシタ回路
- キャパシタのQ値
- まとめ



k : Boltzmann's constant
 T : Absolute temperature
 P_{sig} : Output power
 f_0 : Oscillation freq.
 Δf : Offset freq.
 Q_{tank} : Q factor of a resonator

Phase noise

$$\mathcal{L}\{\Delta f\} = 10 \log \left[\frac{2kT}{P_{sig}} \left(\frac{f_0}{2Q_{tank} \Delta f} \right)^2 \right] \quad [1]$$

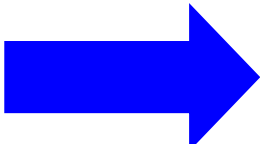
Q値の高い共振器を用いることが
VCOの位相雑音特性において重要

[1] A. Hajimiri and T. H. Lee, IEEE JSSC, 1998.

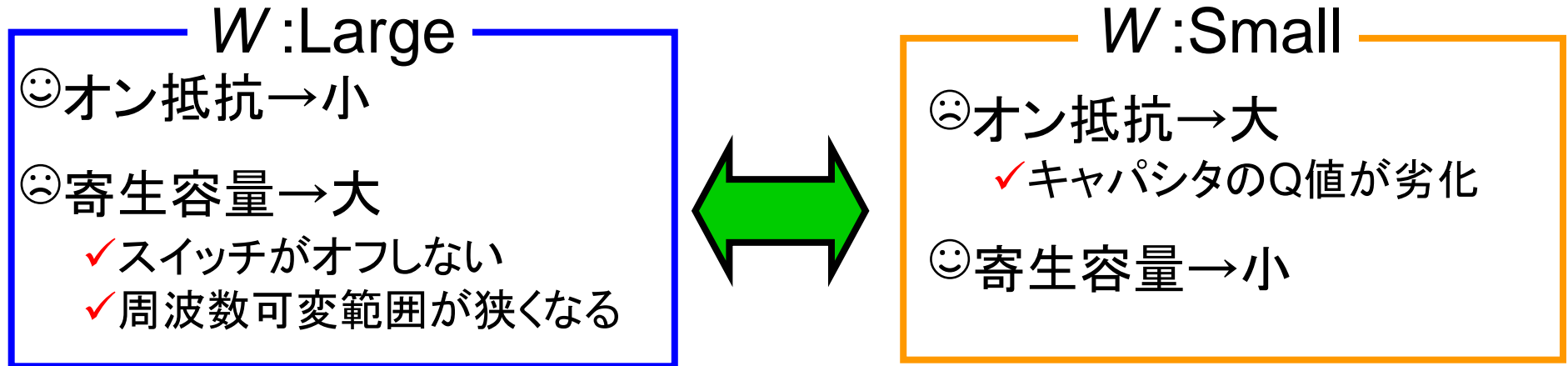
$$Q_{\text{tank}} \cong Q_L // Q_C = \frac{Q_L \cdot Q_C}{Q_L + Q_C}$$

Si CMOSプロセスに於いて

- 低周波 → Q_L が低く支配的
- 高周波 → Q_L が高くなり Q_C の影響を考慮する必要がある

 スイッチトキャパシタによるQ値劣化を解析

スイッチサイズには、オン抵抗と寄生容量とのトレードオフが存在

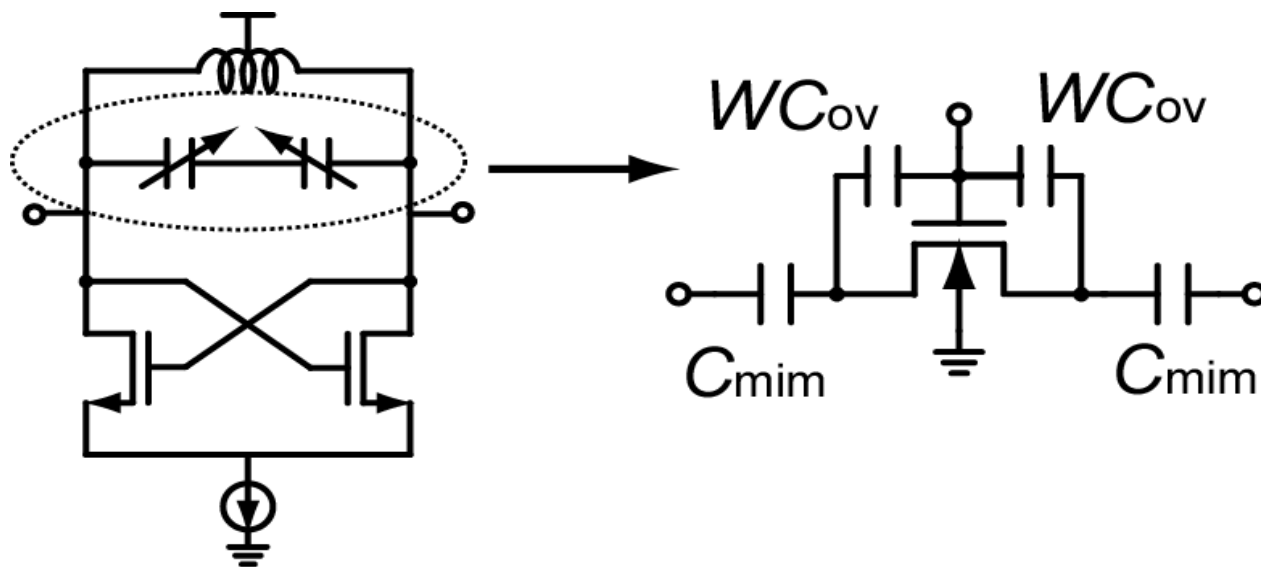


スイッチサイズにおけるトレードオフを数式的に解析

→ 微細プロセスを用いることでスイッチオン時の Q_C を改善できることを示す

スイッチトキャパシタ

スイッチのオン-オフにより容量値を変化させる



C_{ov} : 単位Wあたりの寄生容量

W : ゲート幅

α : 容量比

L : ゲート長

μ : 移動度

C_{ox} : 単位面積あたりのゲート容量

V_{gs} : スwitching 電圧

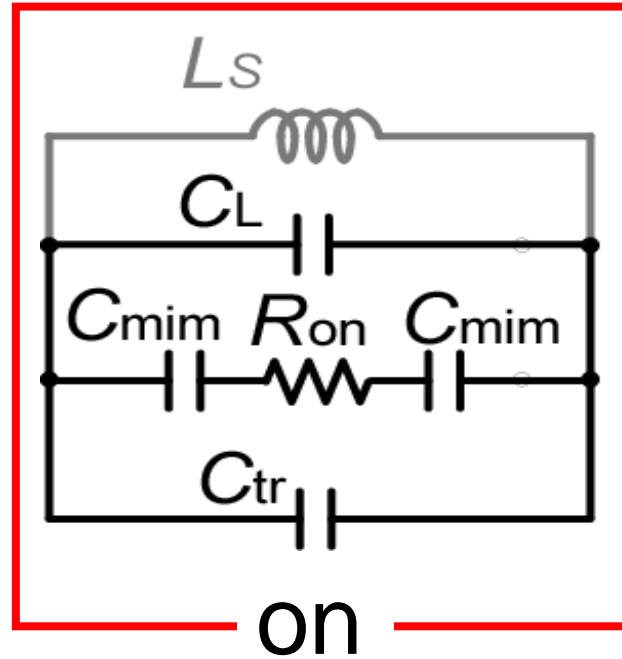
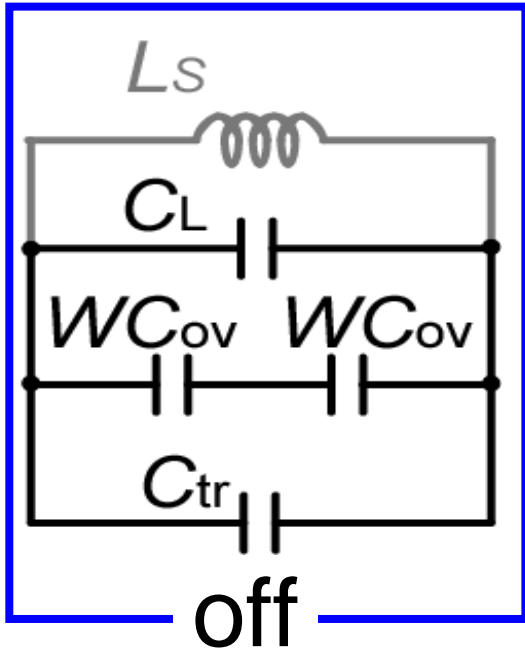
V_{th} : 閾値電圧

C_{mim} , C_{ov} の関係式: $\alpha C_{mim} = WC_{ov}$

オン抵抗: $R_{on} = \frac{K_R}{W} \left[K_R = \frac{L}{\mu C_{ox} (V_{gs} - V_{th})} \right]$

共にスイッチサイズ W の関数として表せる

Frequency tuning ratio (*FTR*)



$$\omega_{\text{off}} = \frac{1}{\sqrt{L_S(C_L + C_{tr} + WC_{ov}/2)}}$$

$$\omega_{\text{on}} = \frac{1}{\sqrt{L_S(C_L + C_{tr} + C_{mim}/2)}}$$

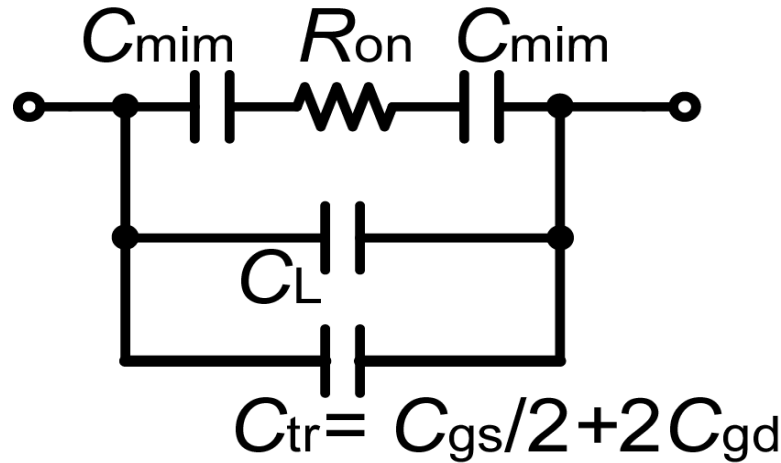
C_L : インダクタの寄生容量
 C_{tr} : クロスカップルTr.の寄生容量

$$FTR = \frac{\omega_{\text{off}} - \omega_{\text{on}}}{(\omega_{\text{off}} + \omega_{\text{on}})/2} \equiv \gamma$$

$$\alpha C_{mim} = WC_{ov}$$

$$C_{mim} = \frac{8(C_L + C_{tr})\gamma}{(1 - \alpha)\gamma^2 - 2(1 + \alpha)\gamma + (1 - \alpha)}$$

キャパシタのQ値



$$R_{on} = \frac{K_R}{W} \left[K_R = \frac{L}{\mu C_{ox} (V_{gs} - V_{th})} \right]$$

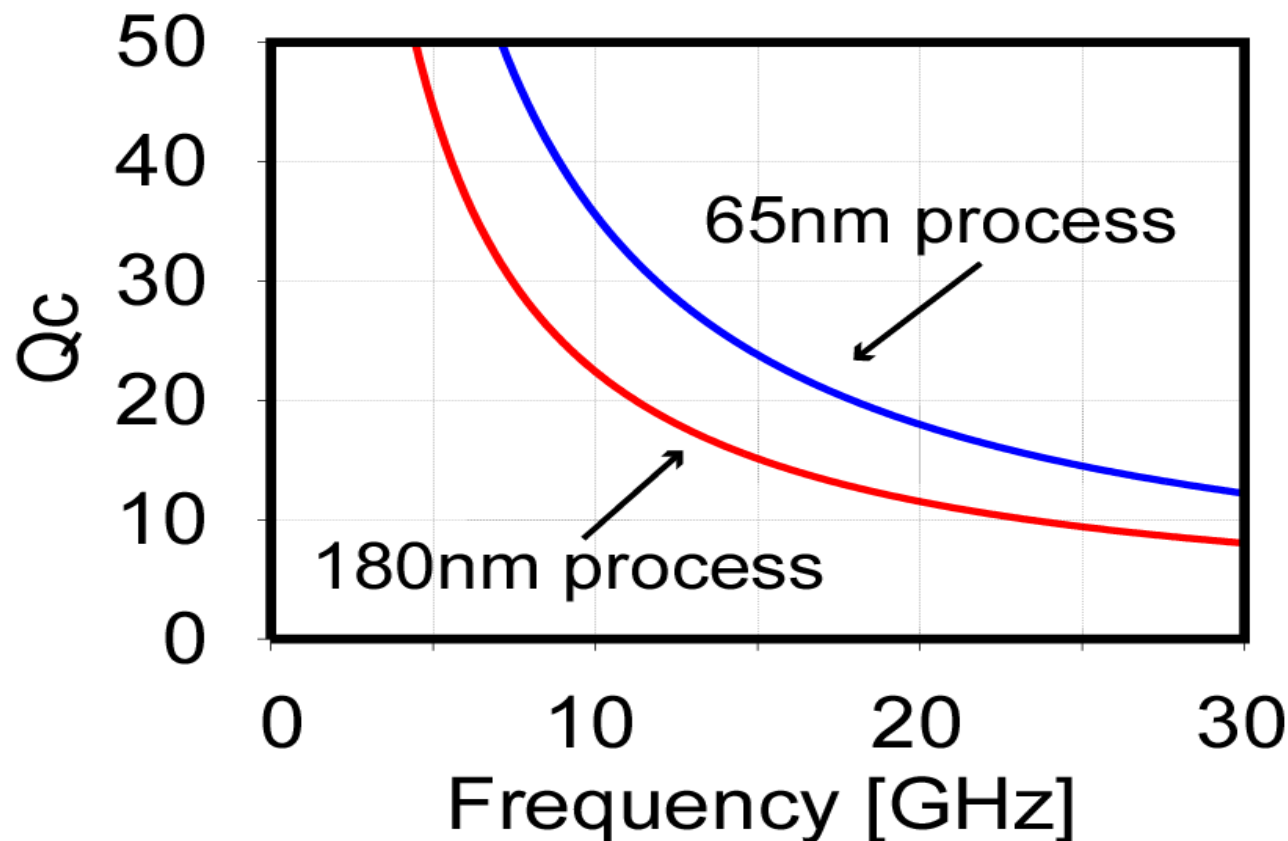
$$Q_c = \frac{\text{Im}(Y)}{\text{Re}(Y)}$$

Cは理想容量と仮定

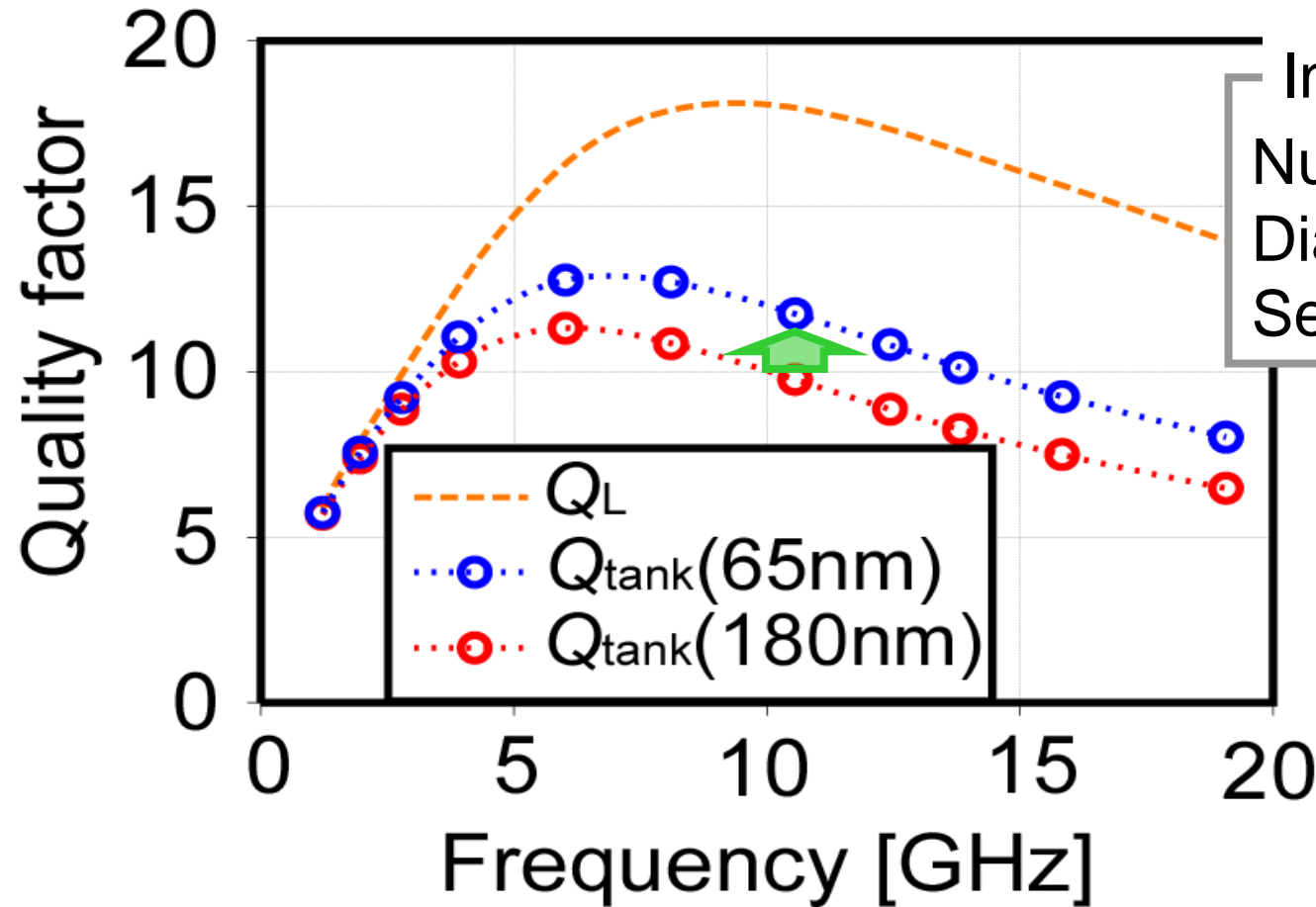
$$= \frac{2\alpha}{\omega K_R C_{ov}} + \frac{\alpha}{\omega K_R C_{ov}} \left\{ 4 + \left(\frac{\omega K_R C_{ov}}{\alpha} \right)^2 \right\} \frac{(1-\alpha)\gamma^2 - 2(1+\alpha)\gamma + (1-\alpha)}{8\gamma}$$

↪ K_R , C_{ov} はプロセスに依存する

スイッチをオンした場合の Q_C を計算



微細プロセスを用いることで Q_C が改善する

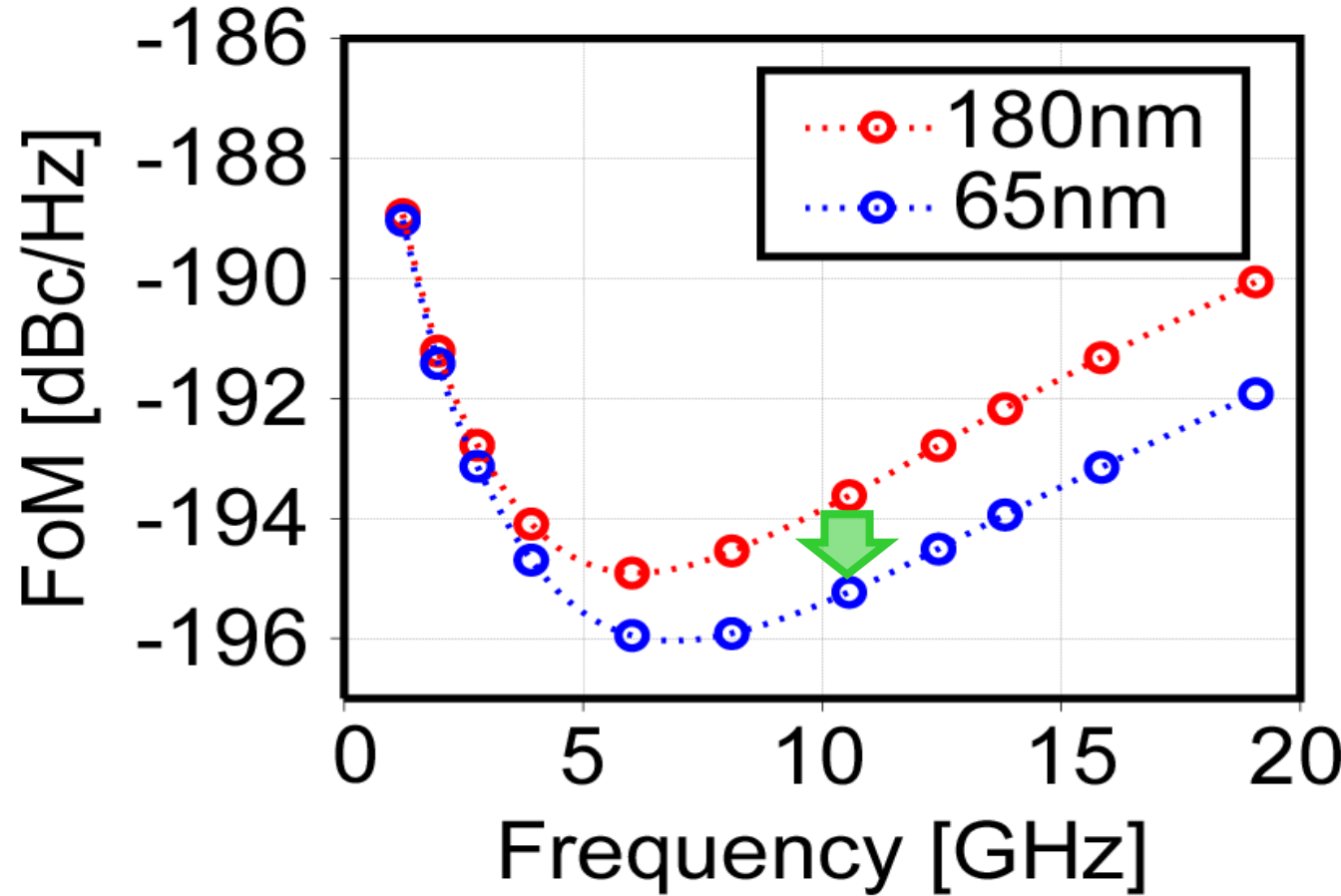


$$Q_{\text{tank}} \cong Q_L // Q_C$$

180nmプロセスに比べ65nmプロセスの方が Q_{tank} が高くなる

Figure of merit (FoM)

A:出力電圧振幅



$$FoM = 10 \log \left[\frac{kTV_{DD}}{2A \cdot 1mW} \frac{1}{Q_{\text{tank}}^2} \right] \quad [3]$$

[3] P. Kinget, "Integrated GHz voltage controlled oscillators," 1999.

$$(\text{FoMの差}) = 20 \log \left(\frac{Q_{180nm}}{Q_{65nm}} \right) = 20 \log \left(\frac{9.8}{11.7} \right) \approx -2 \text{ [dB]}$$

- CMOS 180nm及び65nmのプロセスパラメーターを用い、より微細なプロセスを用いた方がスイッチトキャパシタのQ値を改善できることを示した。
- 65nmプロセスでは180nmプロセスを用いた場合と比較し、VCOのFoMを2dB低減できることを計算から導出した。

ご清聴ありがとうございました