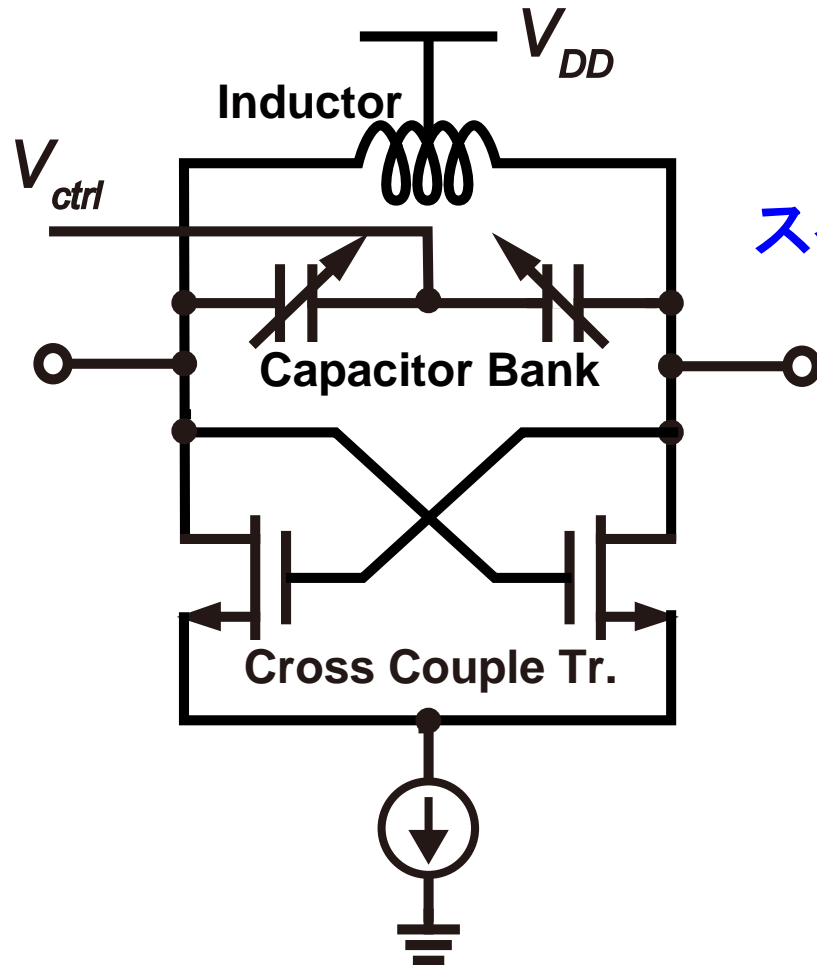


電圧制御発振器における バラクタバイアス抵抗の最適化

○桂木 真希彦, 木村 健将,
岡田 健一, 松澤 昭

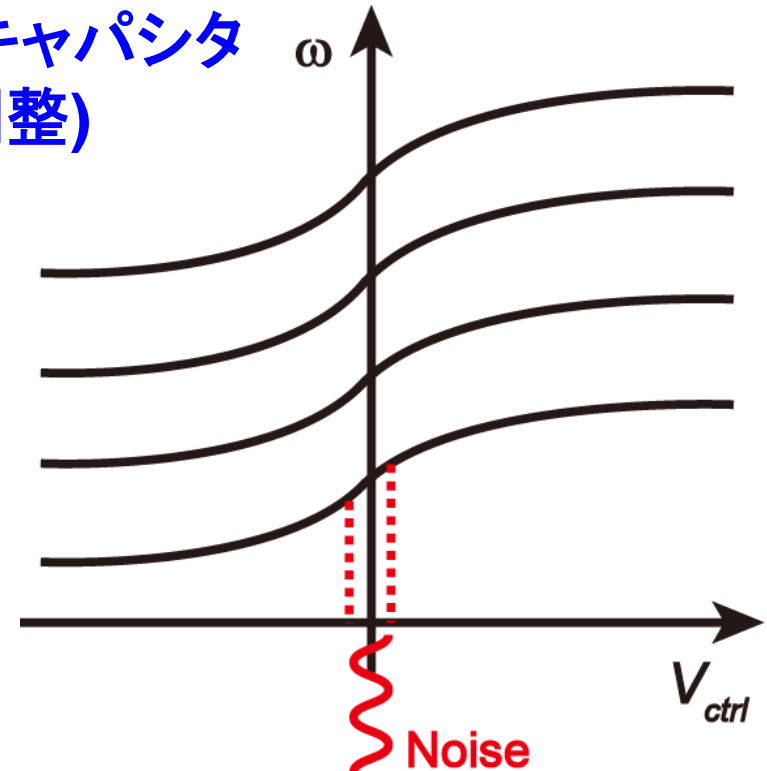
東京工業大学大学院 理工学研究科

- 研究背景・目的
- バラクタバイアス抵抗の最適化手法
 - 位相雑音式の導出
 - シミュレーション結果
- 結論

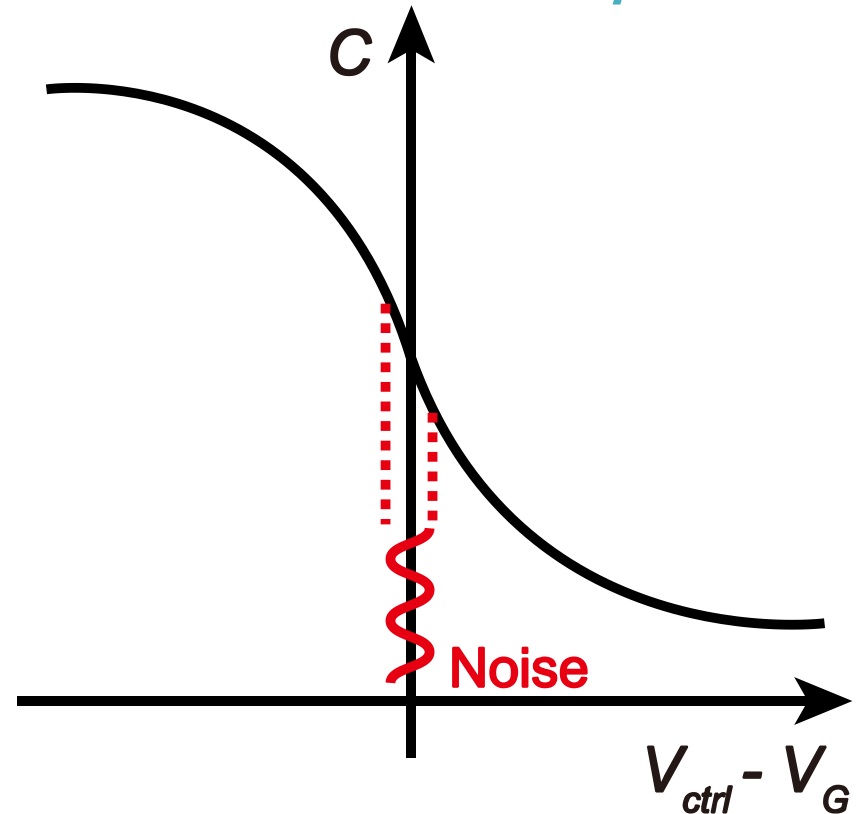
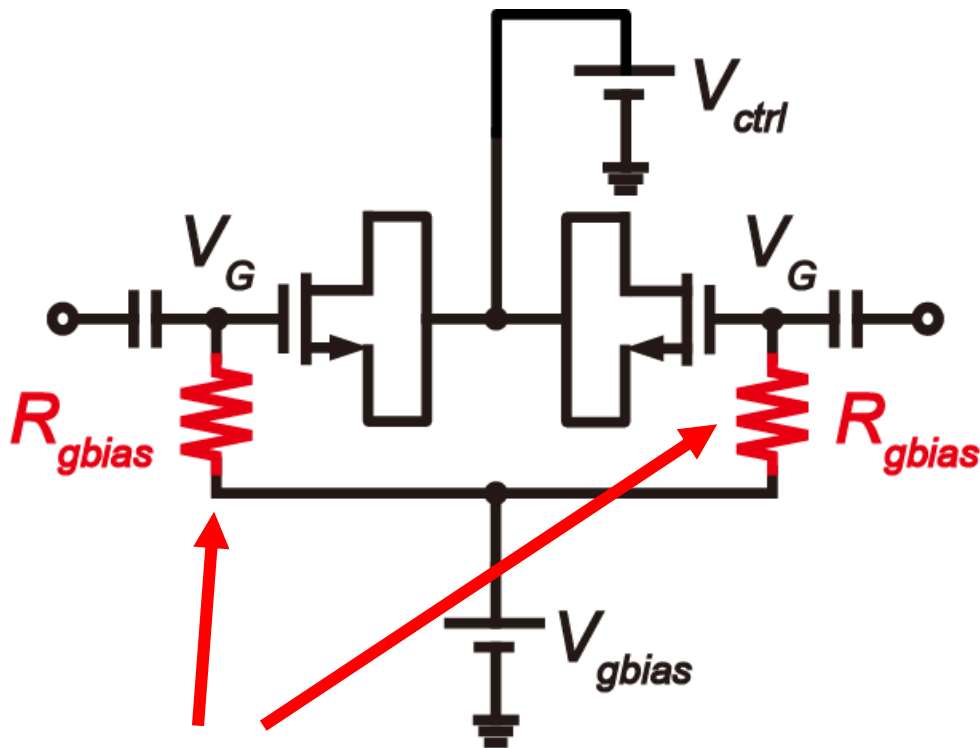


スイッチトキャパシタ
(粗調整)

バラクタ (微調整)



バラクタの制御電圧 V_{ctrl} の雑音は
VCOの位相雑音性能に大きく影響

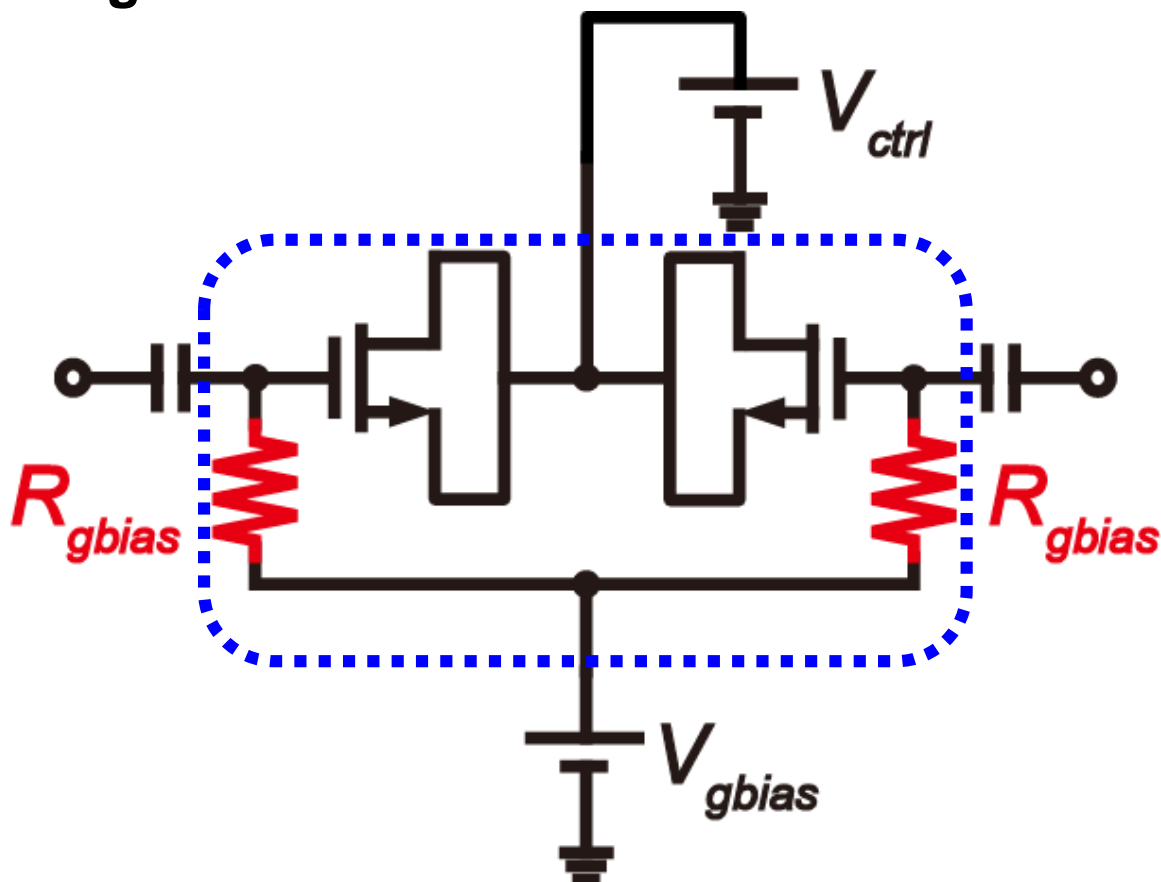


熱雑音をもつ

➡ ゲート電圧 V_G が変動 ➡ キャパシタンスが変動

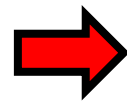
バイアス抵抗 R_{gbias} が大きいと位相雑音が増加

R_{gbias} を小さくするとバラクタのQ値が劣化

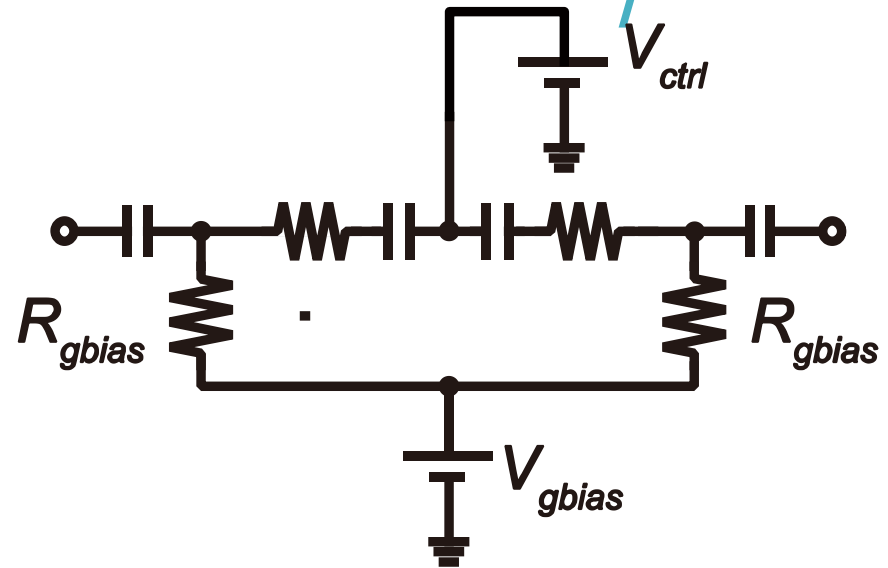
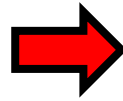
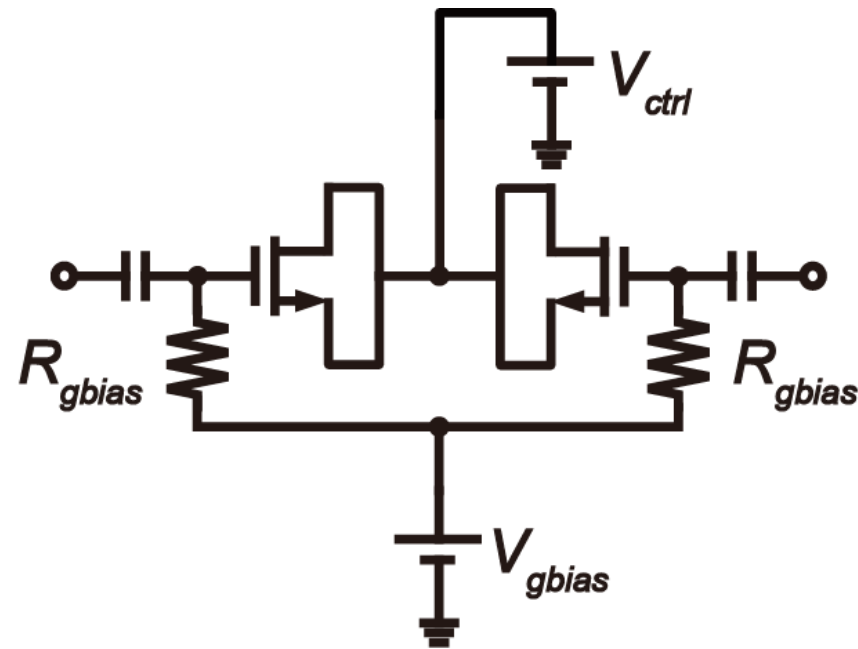


$$Q \approx \omega C_{tr} R_{gbias}$$

R_{gbias} は大きすぎても小さすぎても位相雑音を増加させる原因となる

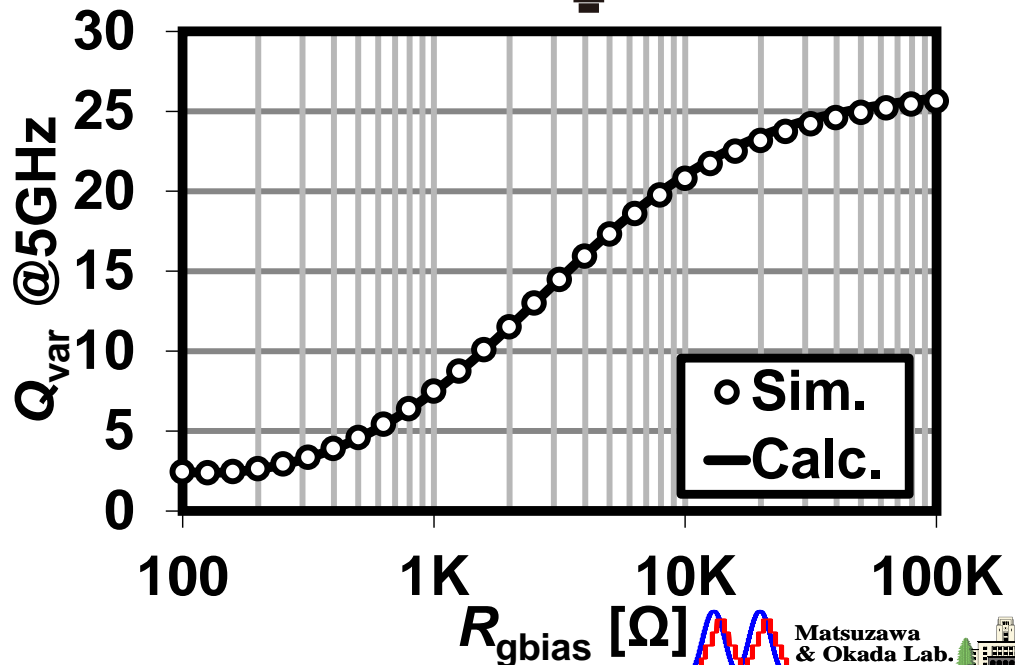


R_{gbias} の最適化



Q値に依存する位相雑音[1]

$$PN_Q \propto \frac{1}{Q^2}$$



[1] A. Hajimiri, et al., JSSC 1998.

熱雑音により発振周波数が変動

雑音を $\sqrt{2}V_m \cos(\omega_m t)$ の正弦波と仮定すると

$$\omega = \omega_0 + \underline{K_{VCO} \cdot \sqrt{2}V_m \cos(\omega_m t)}$$

雑音による周波数変動

$$V_{out}(t) = A_0 \cos\left(\int_{-\infty}^t \omega dt\right)$$

$$\approx \underline{A_0 \cos(\omega_0 t)} + \underline{\frac{A_0 \sqrt{2}V_m K_{VCO}}{2\omega_m} (\cos(\omega_0 + \omega_m)t - \cos(\omega_0 - \omega_m)t)}$$

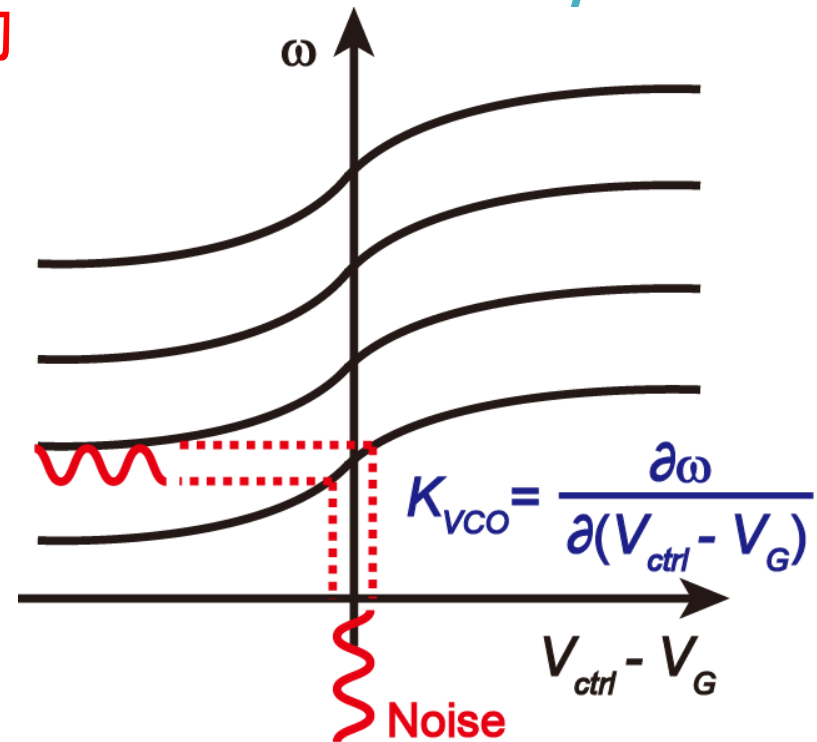
発振信号

雑音

ω_0 :フリーラン発振周波数, ω_m :雑音周波数, K_{VCO} :VCOゲイン,

V_m :雑音電圧の実効値, A_0 :発振振幅

[2] B. Razavi, "RF Microelectronics,"
Prentice Hall, 1997.



$$v_{out}(t) \approx \underbrace{A_0 \cos(\omega_0 t)}_{\text{発振信号}} + \underbrace{\frac{A_0 \sqrt{2} V_m K_{VCO}}{2\omega_m} (\cos(\omega_0 + \omega_m)t - \cos(\omega_0 - \omega_m)t)}_{\text{雑音}}$$

発振信号

雑音

$\omega_0 \pm \omega_m$ における位相雑音は

$$PN_{noise} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{noise}}{P_{sig}} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{2} V_m K_{VCO}}{2\omega_m} \right)^2$$

$V_m^2 = \overline{v_n^2} = 4kTR_{gbias}$ を代入して

$$PN_{noise} = 10 \log_{10} \left(\frac{4kTR_{gbias} K_{VCO}^2}{2\omega_m^2} \right)$$

ω_0 :フリーラン発振周波数,
 ω_m :雑音周波数, K_{VCO} :VCOゲイン,
 V_m :雑音電圧の実効値, A_0 :発振振幅,
 k :ボルツマン定数, T :絶対温度

$$PN = PN_Q[1] + PN_{noise}$$

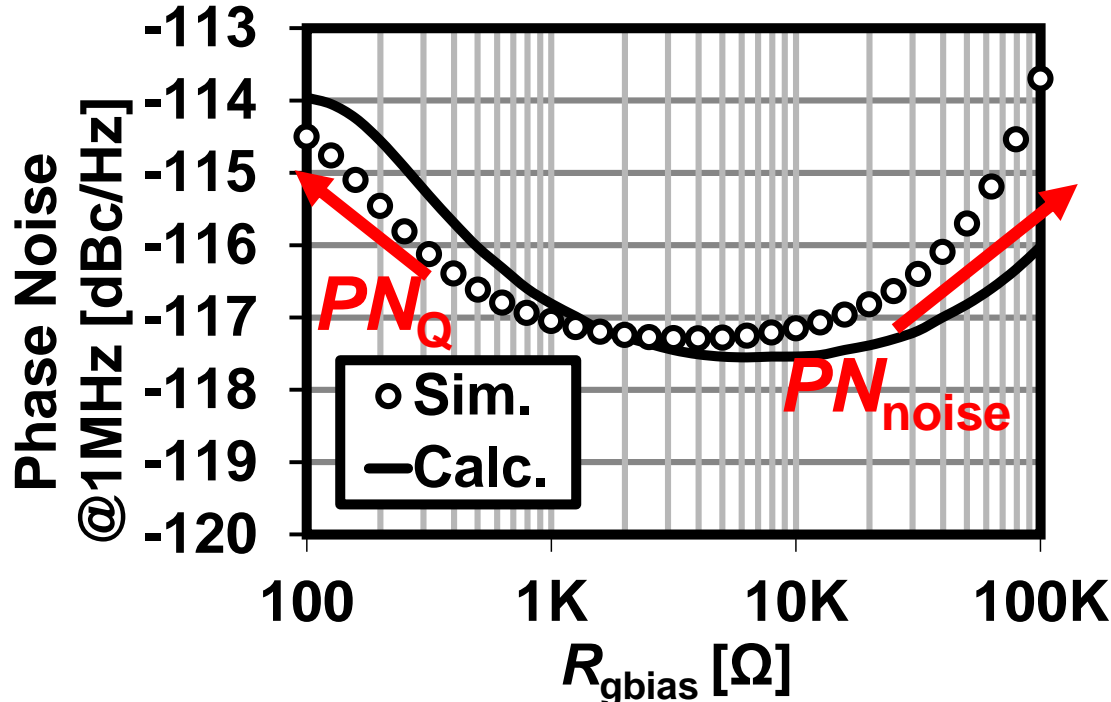
$$= 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4Q^2} \frac{\omega_0^2}{\omega_{offset}^2} \frac{2FkT}{P_{sig}} + \frac{4kTR_{gbias}K_{VCO}^2}{2\omega_{offset}^2} \right)$$

ω_0 : 発振周波数, ω_{offset} : オフセット周波数,

[1] A. Hajimiri, et al., JSSC 1998.

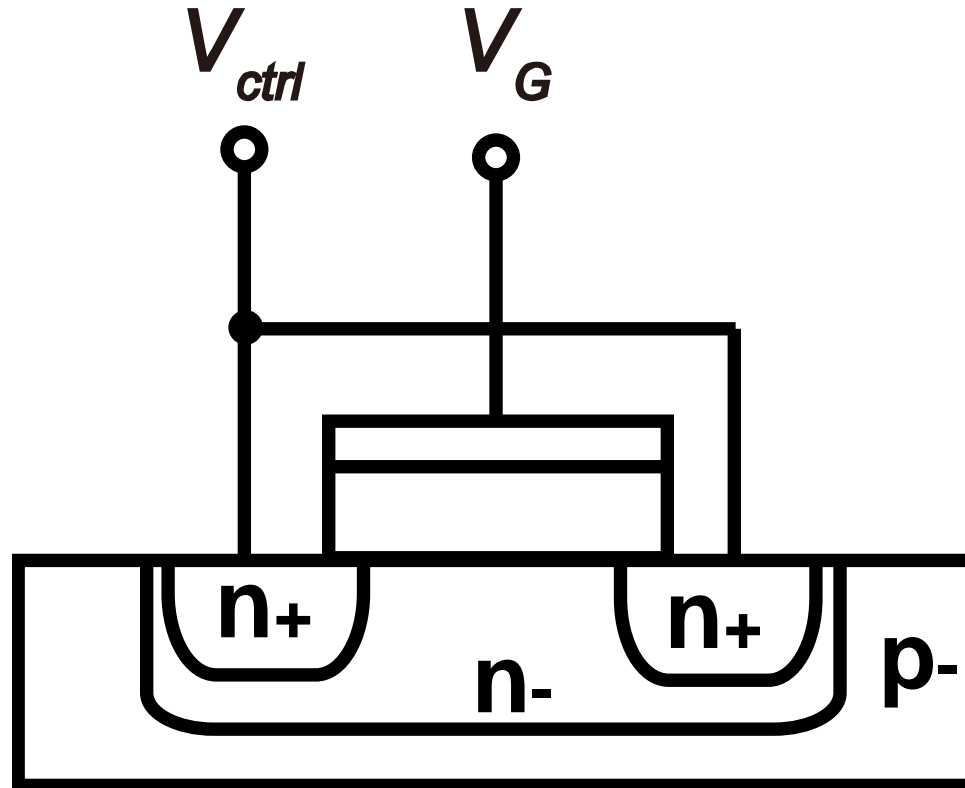
k: ボルツマン定数, T: 絶対温度, F: 雑音指数, P_{sig} : 信号電力, K_{VCO} : VCOゲイン

4bit NMOS LC-VCO 発振周波数 : 5.6GHz

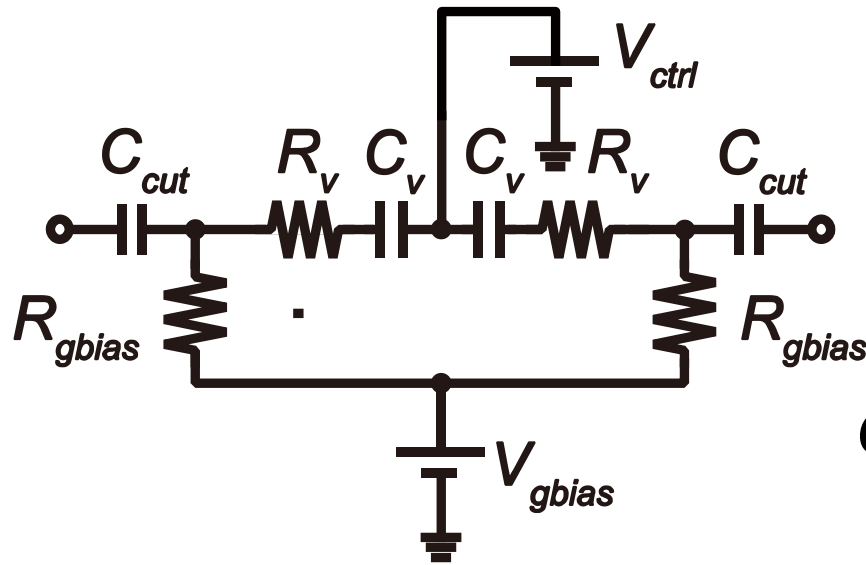


- バラクタのバイアス抵抗を大きくするとQ値が向上する代わりに熱雑音が大きくなる
- バイアス抵抗の影響を考慮した位相雑音式を提案した
- 提案式を用いて、位相雑音に対して最適なバイアス抵抗を求めることができた

Appendix

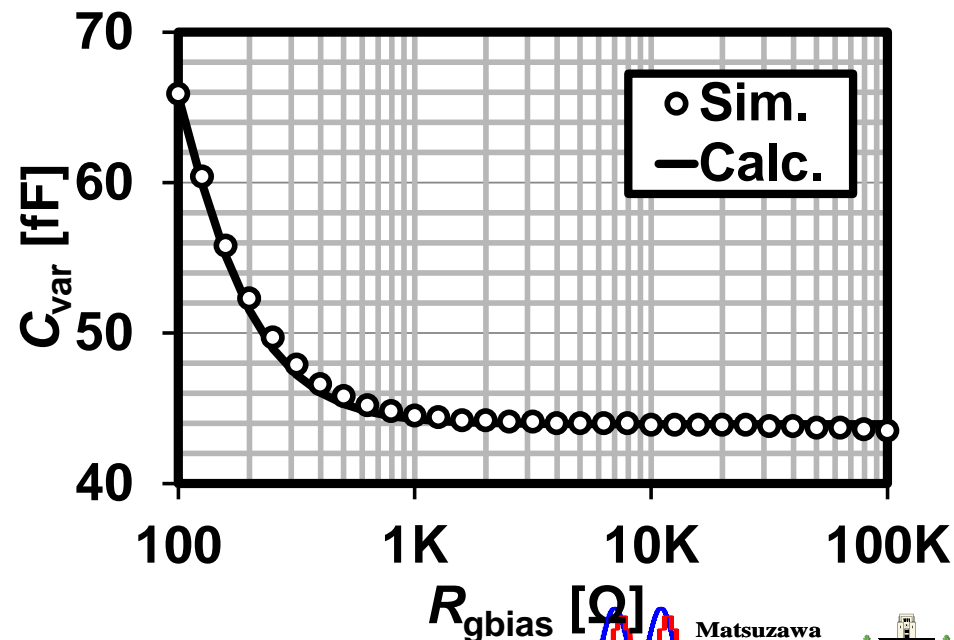
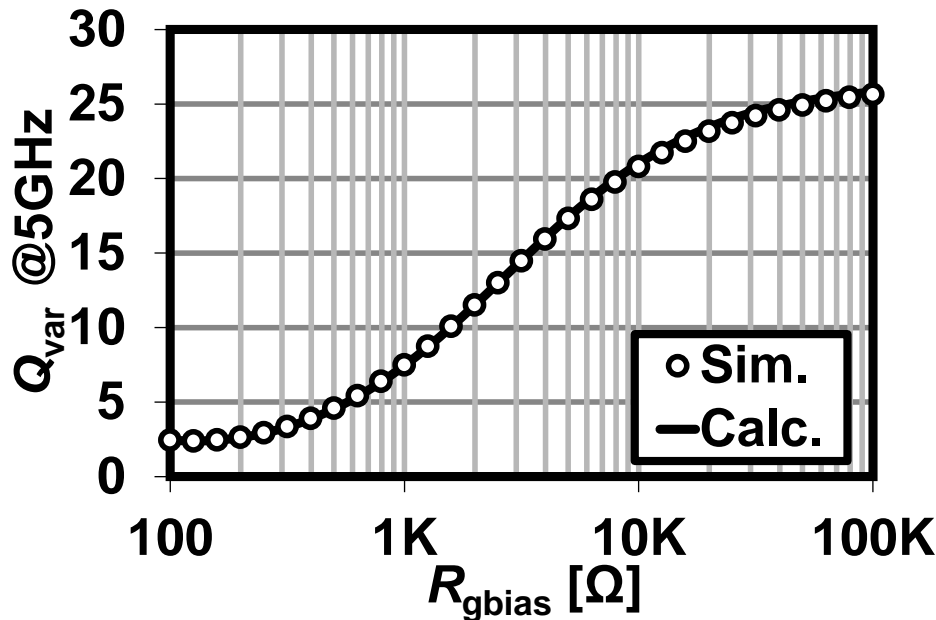


制御電圧によって
空乏層領域のキャパシタンスが変化



$$Q_{var} \approx \frac{1 + \omega^2 C_v (C_v + C_{cut}) R_{gbias}^2}{\omega C_{cut} R_{gbias} (1 + \omega^2 C_v^2 R_v R_{gbias})}$$

$$C_{var} \approx \frac{C_{cut}}{2} \cdot \frac{1 + \omega^2 C_v (C_v + C_{cut}) R_{gbias}^2}{1 + \omega^2 (C_v + C_{cut})^2 R_{gbias}^2}$$



$$Q = \left(\frac{1}{Q_{\text{var}} \cdot \frac{C_{\text{total}}}{C_{\text{var}}}} + \frac{1}{Q_{\text{sw}} \cdot \frac{C_{\text{total}}}{C_{\text{sw}}}} + \frac{1}{Q_L} \right)^{-1}$$

$$PN_Q = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4Q^2} \frac{\omega_0^2}{\omega_{\text{offset}}^2} \frac{2FkT}{P_{\text{sig}}} \right) \quad [1]$$

$$P_{\text{sig}} \approx \frac{2V_{DD}^2}{Q\omega_0 L}$$

(max, in NMOS VCO)

ω_0 : 発振周波数, ω_{offset} : オフセット周波数,
k: ボルツマン定数, T: 温度, F: 雑音指数

[1] A. Hajimiri, et al., JSSC 1998.

