

# Class-C VCOを用いたクロック発生器 の位相雑音特性の解析

浅田 大樹\* , 原 翔一\*\* , 岡田 健一\*\* , 松澤 昭\*\*

\*東京工業大学工学部電気電子工学科

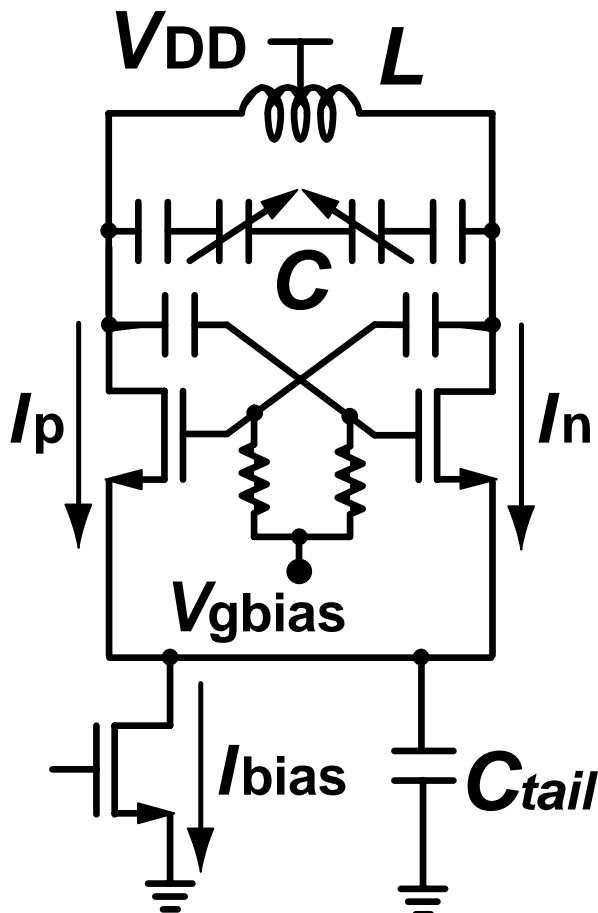
\*\*東京工業大学大学院理工学研究科

- 背景・目的
- Class-C VCOとFoM
- 低消費電力Class-C VCOの問題
- シミュレーション結果
- まとめ

- 低消費電力ではリング型よりLC型の発振器が有利。
- 高性能で低消費電力なClass-C VCOを更に低消費電力化したい。
- 低消費電力動作ではFoMが劣化する。

## 目的

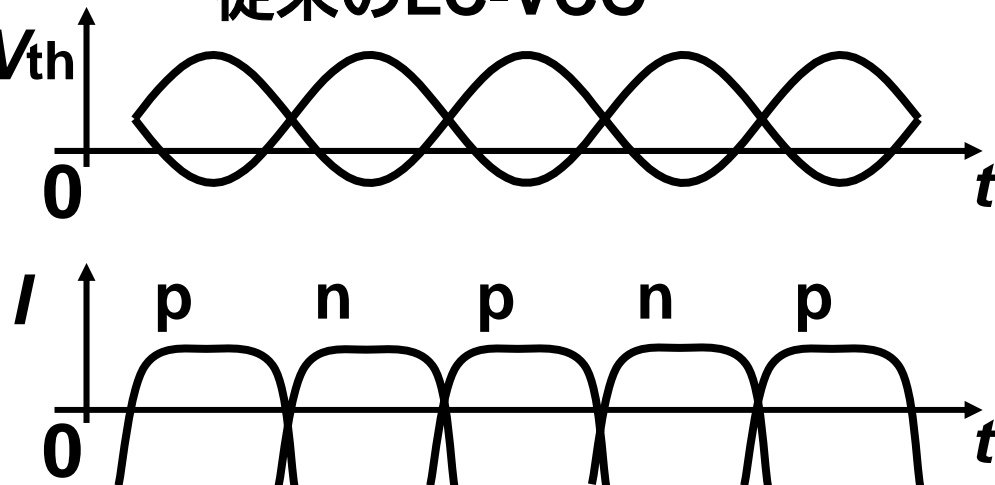
Class-C VCOの低消費電力化に伴う問題点の解析



[1] A. Mazzanti, et al.,  
JSSC 2008

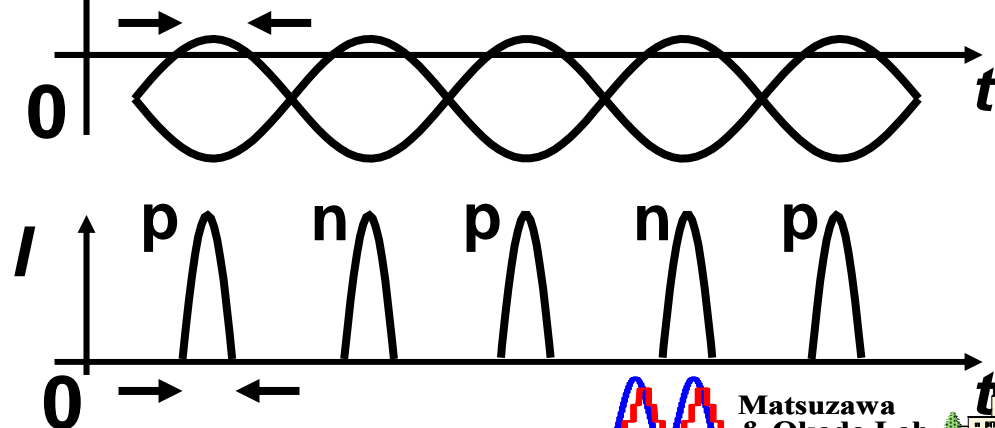
$$V_{eff} = V_{gs} - V_{th}$$

従来のLC-VCO

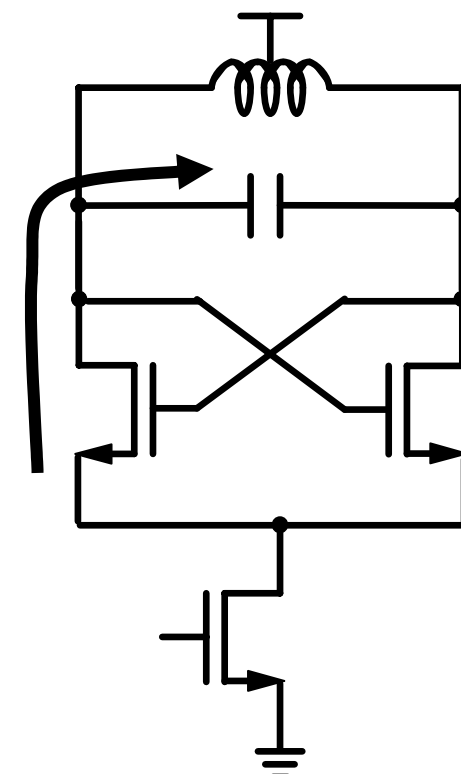
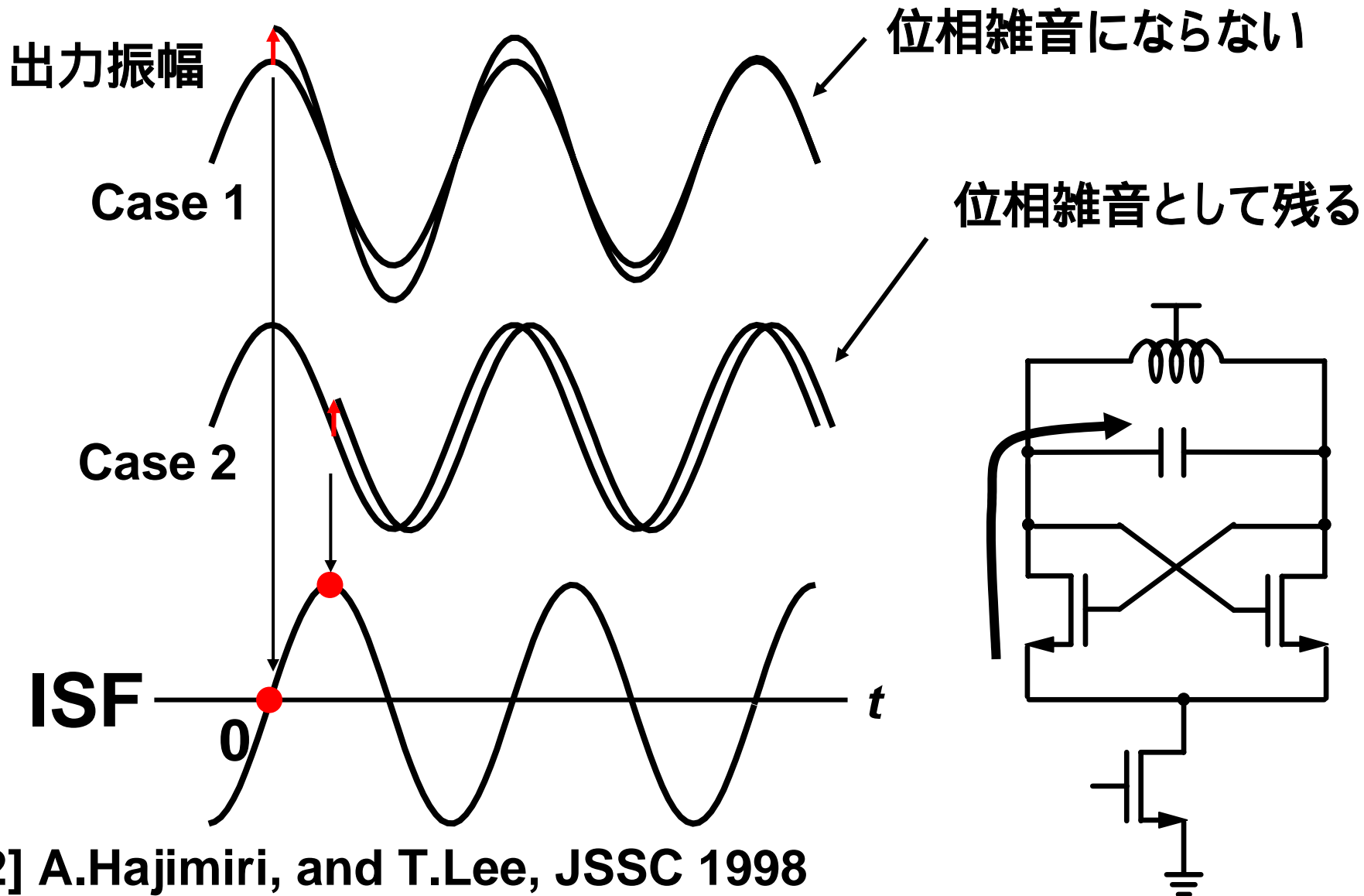


$$V_{eff} = V_{gs} - V_{th}$$

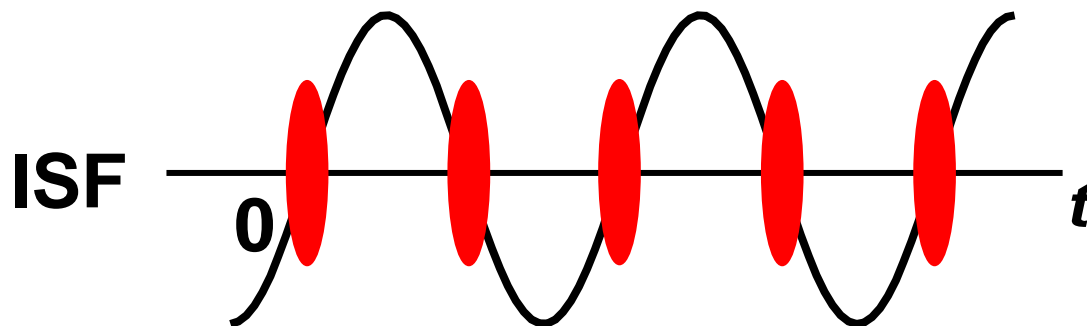
Class-C VCO



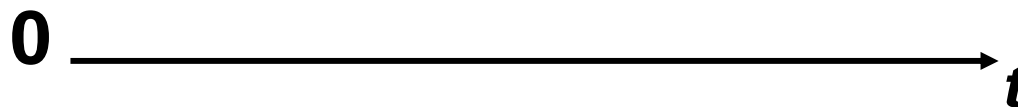
# Impulse Sensitivity Function (ISF)



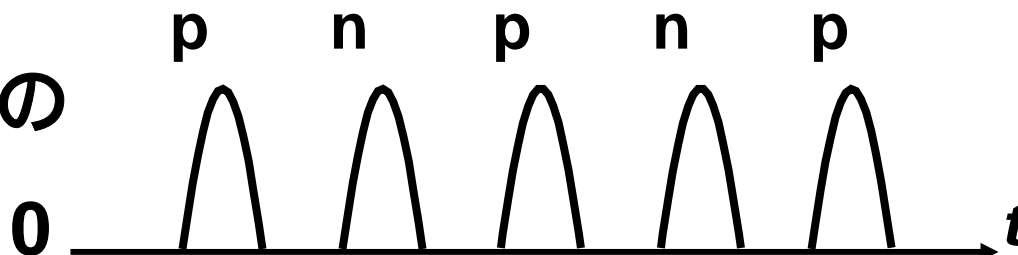
[2] A.Hajimiri, and T.Lee, JSSC 1998



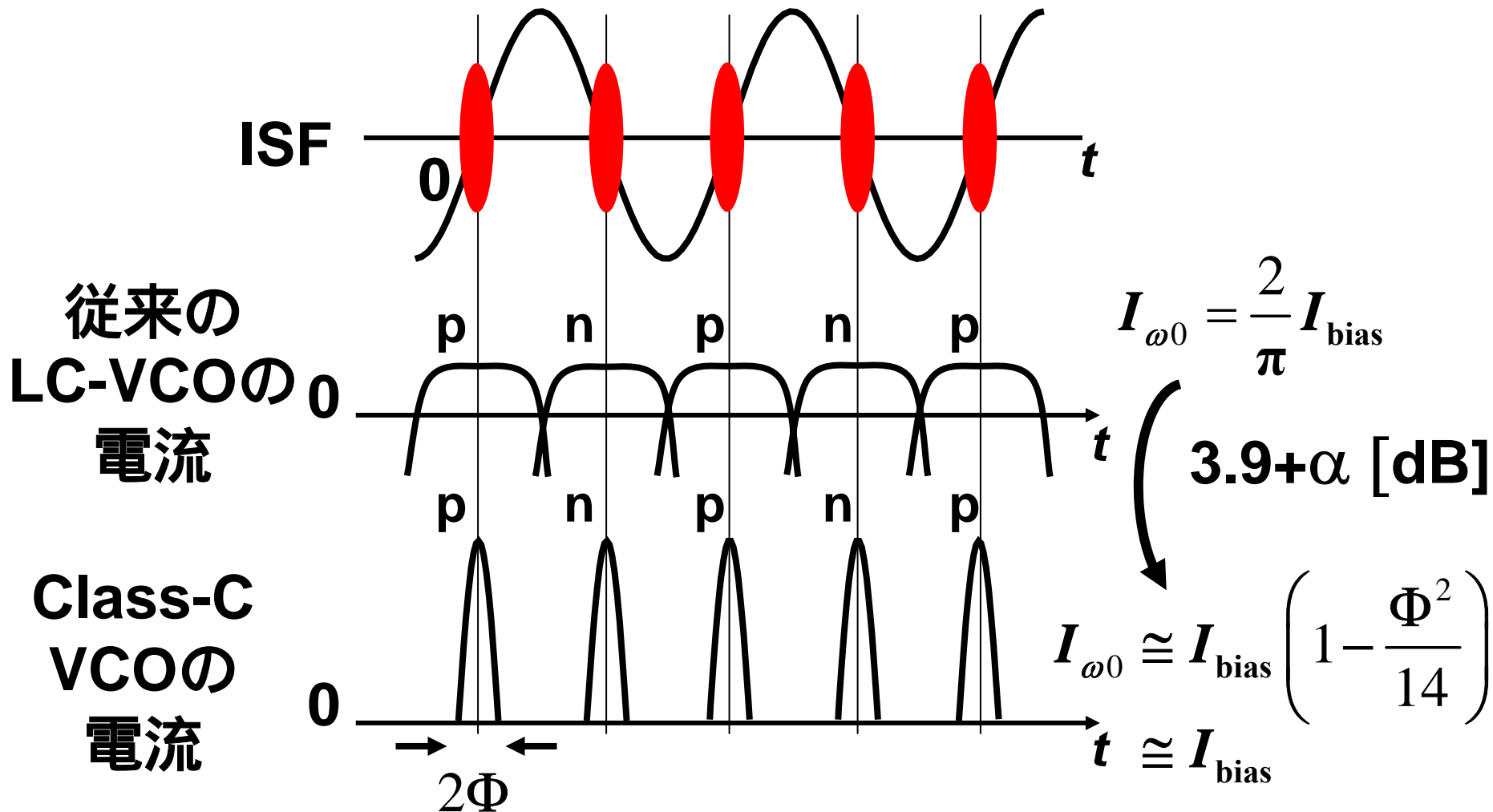
理想的な電流



Class-C VCOの  
電流



# Class-C VCO と従来のLC-VCO



$$\text{FoM} = 10 \log \left( \frac{k_B T (1 + \gamma) R_t}{N Q_t^2 A_t^2} \cdot \frac{f_0^2}{\Delta f^2} \right) - 20 \log \left( \frac{f_0}{\Delta f} \right) + 10 \log \left( \frac{P_{\text{DC}}}{1 \text{mW}} \right)$$

$k_B$  : ボルツマン定数,  $T$  : 絶対温度,  $N$  : 共振器数,  $\gamma$  : 雑音指数,  
 $R_t$  : 共振器の抵抗,  $f_0$  : 発振周波数,  $\Delta f$  : 離調周波数,  
 $Q_t$  : 共振器のQ値,  $A_t$  : 出力振幅,  $P_{\text{DC}}$  : 消費電力

[3] P.Kinget, KAP 1999

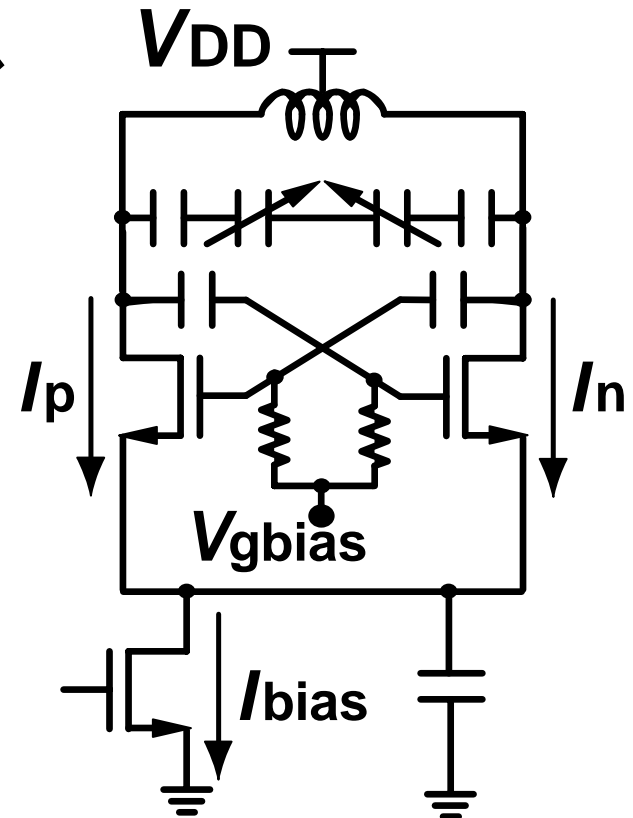
$A_t \cong R_t I_{\text{bias}} \leq (V_{\text{DD}} + V_{\text{OD}}) / 2$ ,  $P_{\text{DC}} = V_{\text{DD}} I_{\text{bias}}$  より、 $V_{\text{OD}} = V_{\text{gbias}} - V_{\text{th}} = 0$ において

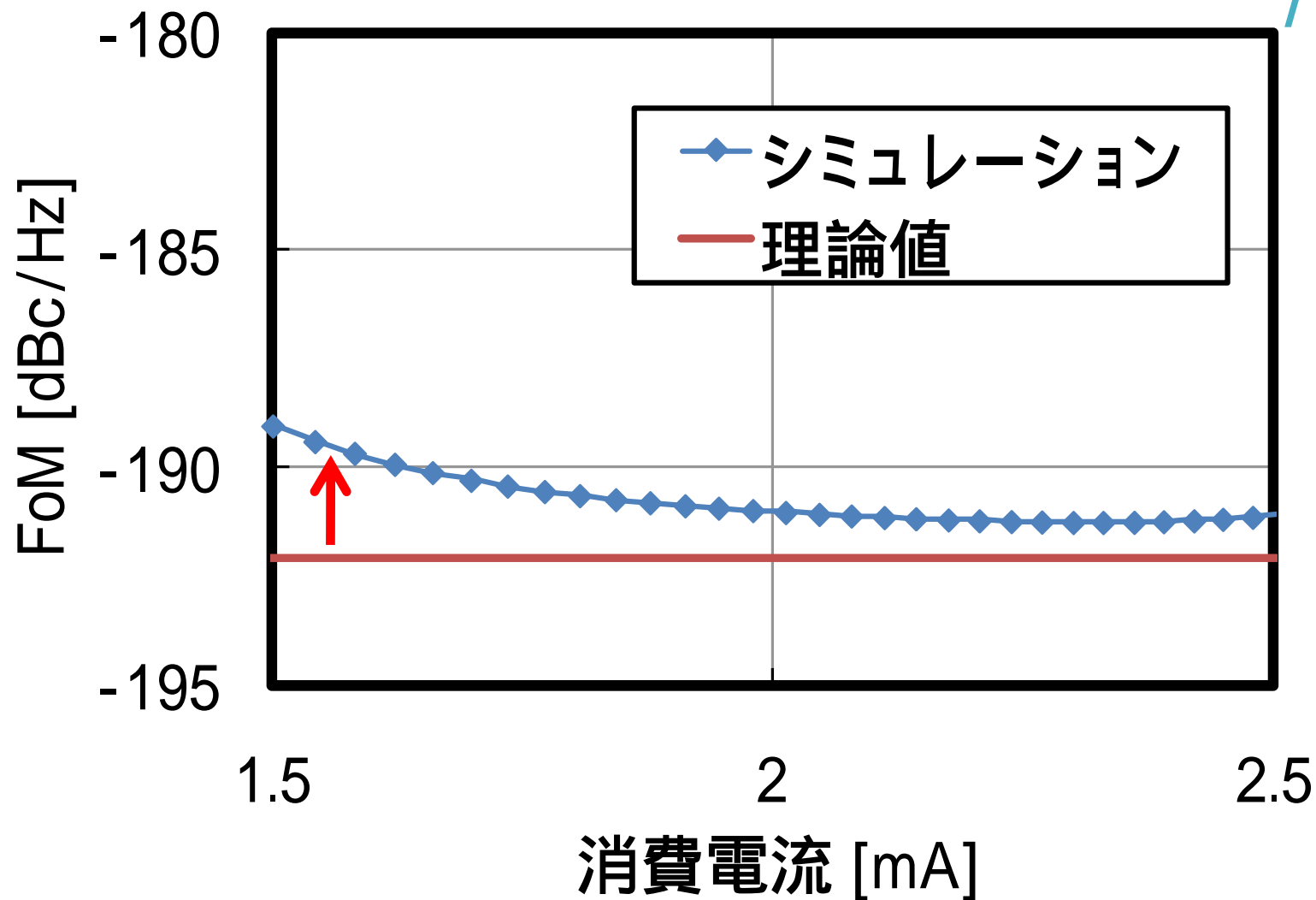
$$\text{FoM} = 10 \log \left( \frac{k_B T (1 + \gamma)}{Q_t^2 \cdot 1 \text{mW}} \right)$$

FoMはQ値のみの関数となる



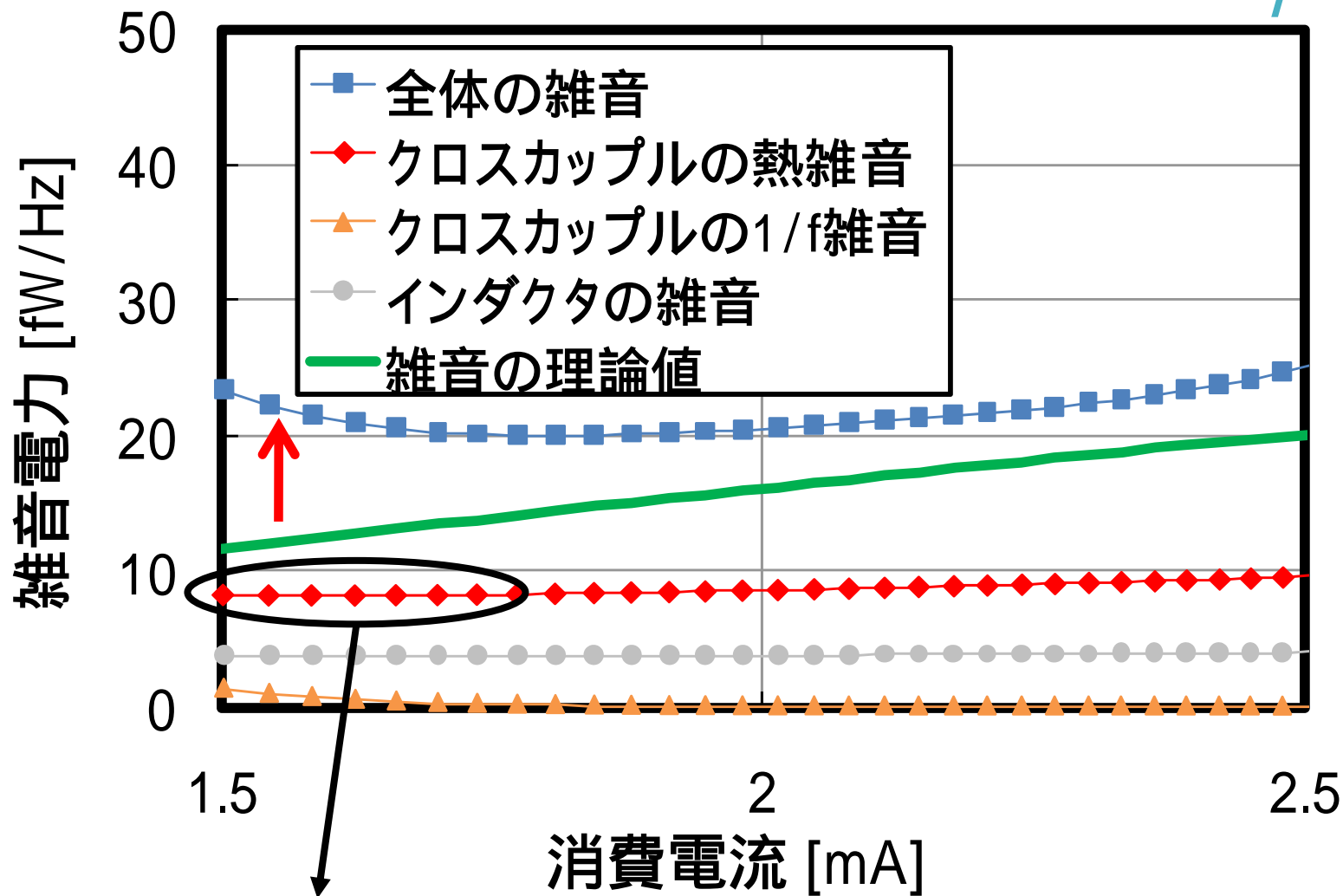
- 0.18 $\mu\text{m}$  CMOSプロセス
- $V_{DD}=1.8\text{V}$ 、 $V_{OD}=0.1\text{V}$
- $f_0=5\text{GHz}$ 、 $\Delta f=1\text{MHz}$
- $Q_t=12.9$ 、 $\gamma=2$
- テールのトランジスタのサイズを変えて  $I_{\text{bias}}$  を変化させた。



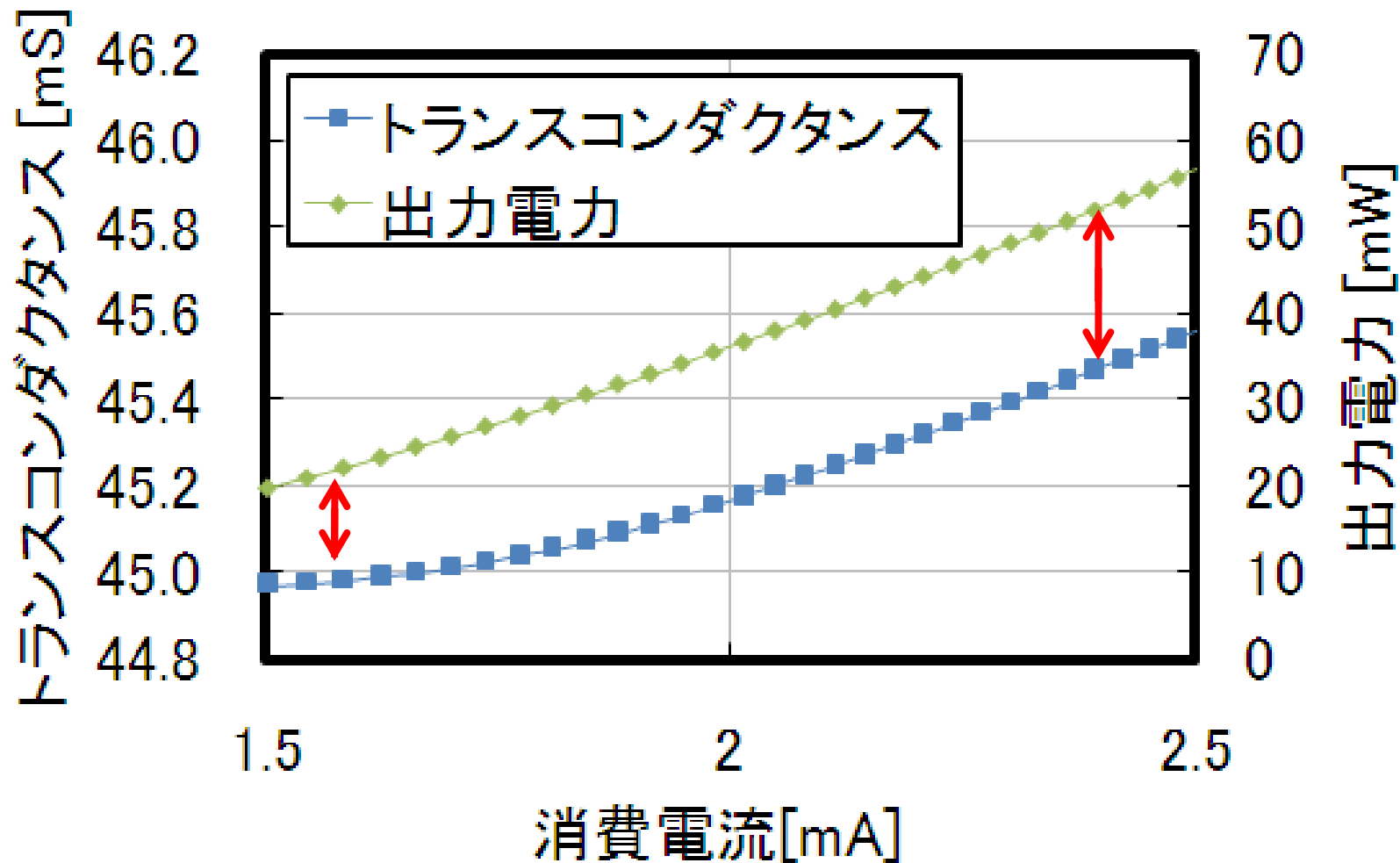


低電流時に理論値よりも雑音が劣化する

# VCOの雑音成分の構成



クロスカップルの熱雑音が低電流でも減少しない



弱反転領域の $g_m$ による雑音

- Class-C VCOのFoMの理論値はQ値のみで決まる関数となることを示した。
- 実際は低消費電流においてFoMが劣化することを示した。
- その原因がクロスカップルの弱反転動作による $g_m$ の増大にあることを明らかにした。