

インバータ型リング発振器の 位相雑音の理論計算の検討

○中田 憲吾, 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 松澤・岡田研究室

- 研究背景
 - Synthesizable PLL
- リング発振器の位相雑音
 - 理論式による計算
 - 従来式の応用
- シミュレーションによる検証
- 結論と今後の課題

All digital circuits

- 低消費電力・小面積
- 自動レイアウト化
- プロセス移植しやすい

→アナログ分野(PLL,DAC etc.)での実現

Synthesizable IL-PLL [1]

- 低消費電力・小面積
- 注入同期による**低位相雑音化**

[1] W. Deng, et al., ISSCC 2014

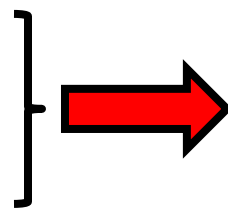
一般的な遅延解析ツールで

😊 解析できる性能

- 消費電力
- 端子間の信号遅延時間

😞 解析できない性能

- 発振周波数
- 位相雑音特性



別途トランジスタレベル
回路シミュレーターを
用いる必要性

本研究の目的

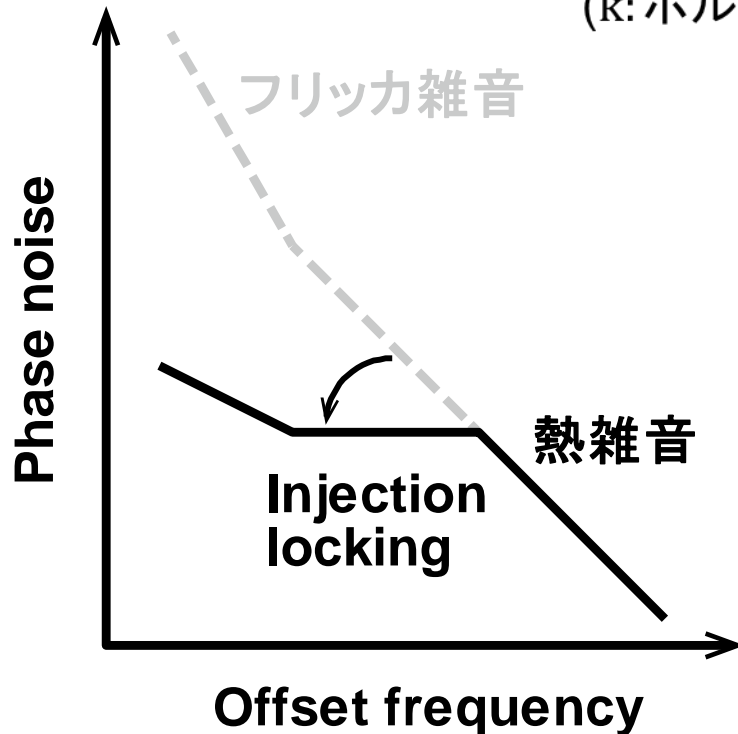
リング発振器の位相雑音の計算法について検討

熱雑音についての位相雑音の理論式

$$L(f) = \frac{2kT}{V_{DD} \cdot I} \left(\frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}} (\gamma_N + \gamma_P) + 1 \right) \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 \quad (1)$$

(k: ボルツマン定数, $\gamma_{N(P)}$: N(P)MOSTランジスタの雑音係数)

[2] Asad A. Abidi, et al., JSSC 2006



☹️ 遅延解析ツールでは
発振周波数 f_0 , 電流値 I
を解析できない

回路全体の消費電力 P_{dc}

$$P_{dc} = V_{DD} \times \bar{I}$$

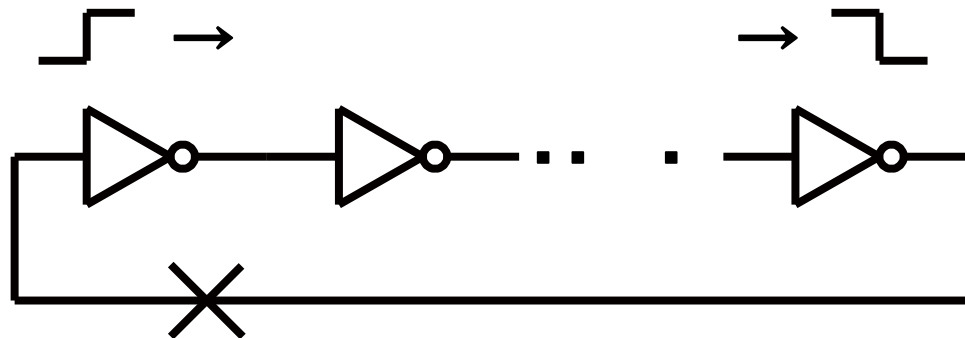
\bar{I} :インバータに流れる電流の平均値

発振周波数 f_0 (周期 $T_0 = 1/f_0$)

$$T_0 = \tau_1 + \tau_2$$

$\tau_1(\tau_2)$:立ち上(下)がり信号入力から

立ち下(上)がり信号出力までにかかる時間



位相雑音の従来理論式に

$$\bar{I} = \frac{P_{dc}}{V_{DD}}, f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} \text{ を適用}$$

位相雑音の理論式

$$L(f) = \frac{2kT}{P_{dc}} \left(\frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}} (Y_N + Y_P) + 1 \right) \left(\frac{1}{f(\tau_1 + \tau_2)} \right)^2 \quad (2)$$

位相雑音の計算を検討

- ① 遅延解析ツール+計算式(2)
- ② トランジスタレベル回路シミュレーション

- 設計プロセス CMOS 65nm
- 遅延解析ツール : Design Compiler (*1)
- トランジスタレベル回路シミュレータ : Virtuoso (*2)
(spectre rf)

理論計算

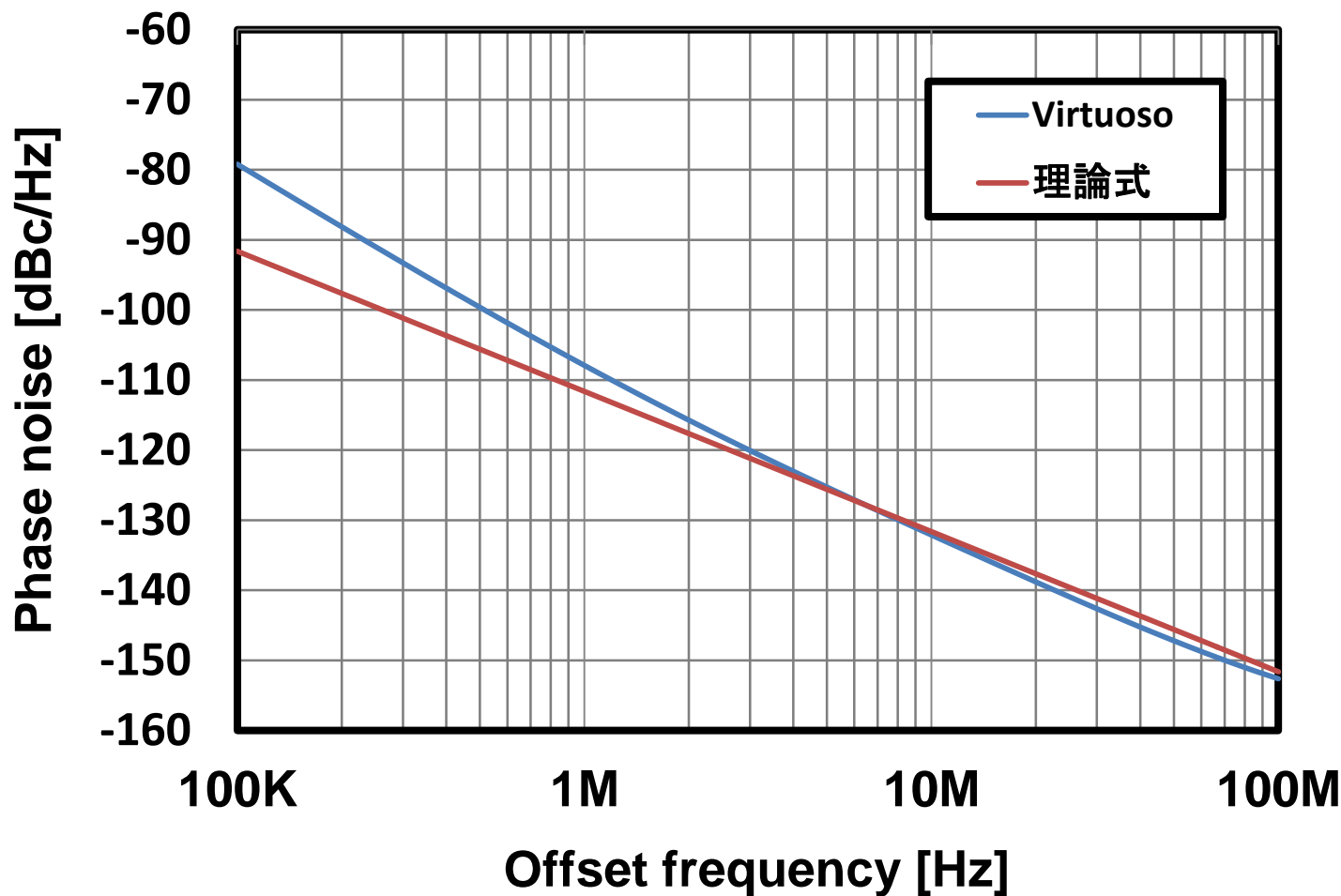
$$L(f) = \frac{2kT}{P_{dc}} \left(\frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}} (\gamma_N + \gamma_P) + 1 \right) \left(\frac{1}{f(\tau_1 + \tau_2)} \right)^2$$

$V_{DD}=1.0V, V_{th}=0.35V, \gamma_{N(P)}=2/3, T=300K$ として計算

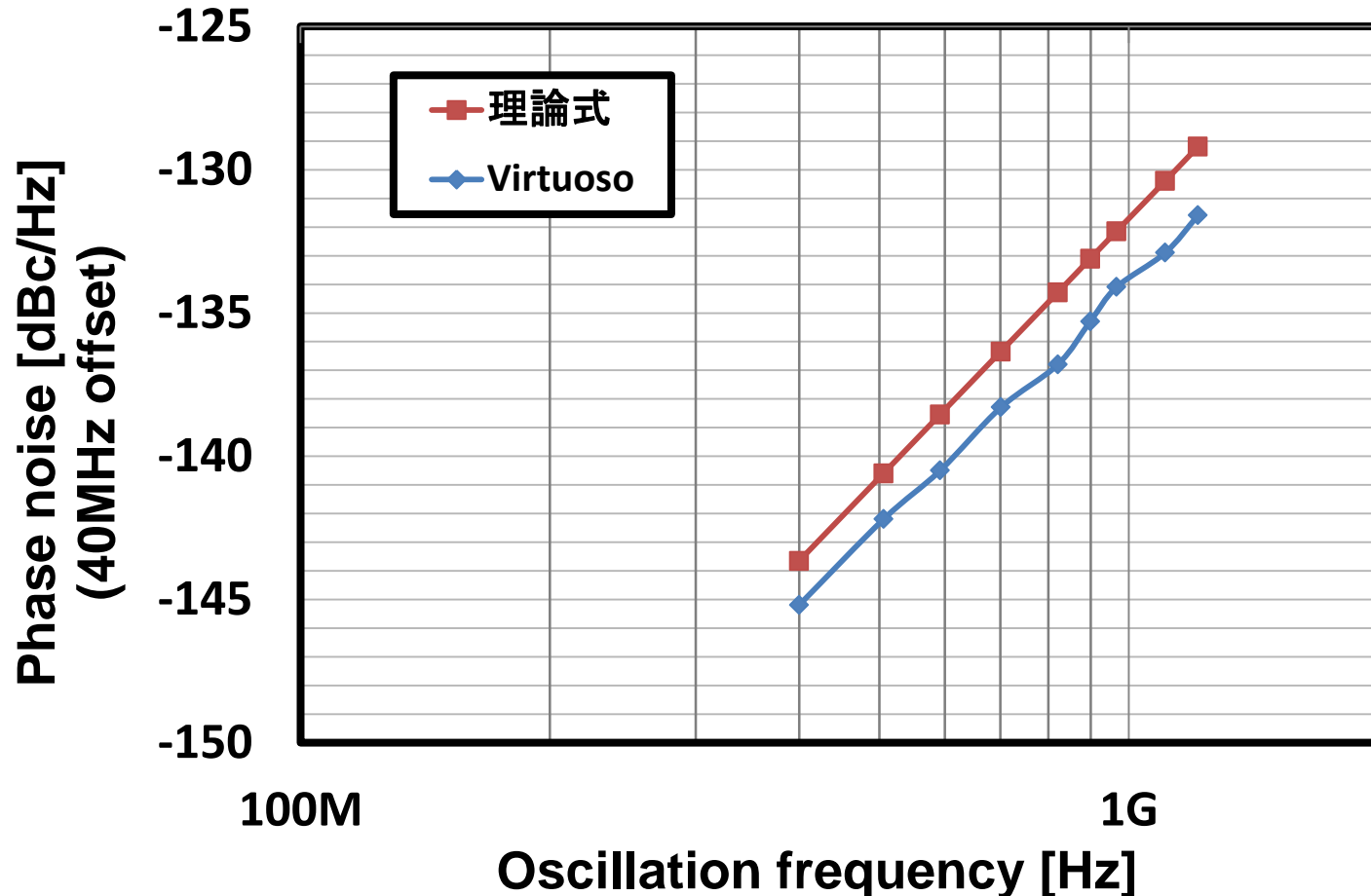
(*1) シノプシス株式会社 (*2) 日本ケイデンス株式会社

シミュレーション結果との比較(1)

$f_0=400\text{MHz}$ となる $T_0=2.5\text{ns}$ の場合について



発振周波数ごとの位相雑音(40MHz offset)



結論

インバータ型リング発振器の位相雑音の計算について遅延解析ツールの結果のみを用いてトランジスタレベル回路シミュレーターに近い値を算出できることを確認した。

今後の課題

- 一般的なリング発振器への応用
 - Multiplexer(delay path含む)を用いたDCO
- 実測結果との比較

Thank you for your attention.