

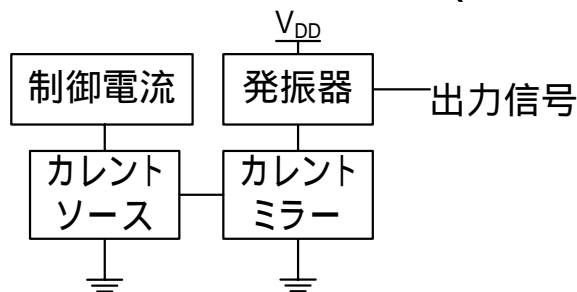
# リング発振器用低雑音電流源の検討

韓 政勲\*、岡田健一\*\*、松澤 昭\*\*

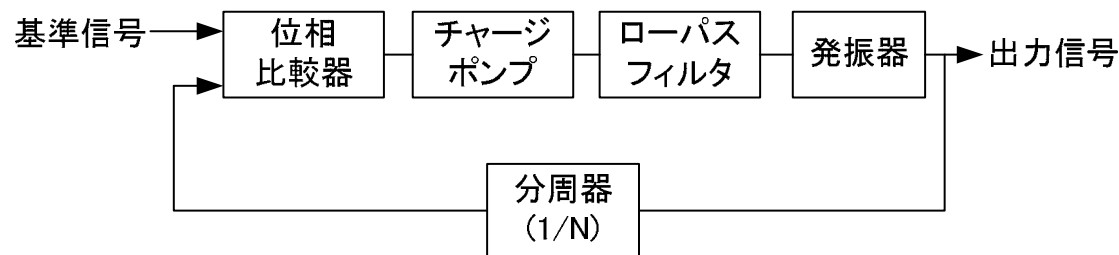
東京工業大学 大学院 理工学研究科

国際開発工学専攻\*、電子物理工学専攻\*\*

- オープンループ発振器[1][2]
  - 発振器単体
  - 高ジッタ特性、高位相雑音特性、低消費電力、小面積
  - カレントミラー制御
- クローズドループ発振器[3]
  - PLL (Phase-Locked Loop)、DLL (Delay-Locked Loop)
  - 低ジッタ特性、低位相雑音特性、高消費電力、大面積
  - 電圧制御(チャージポンプとローパスフィルタ)



## オープンループ発振器



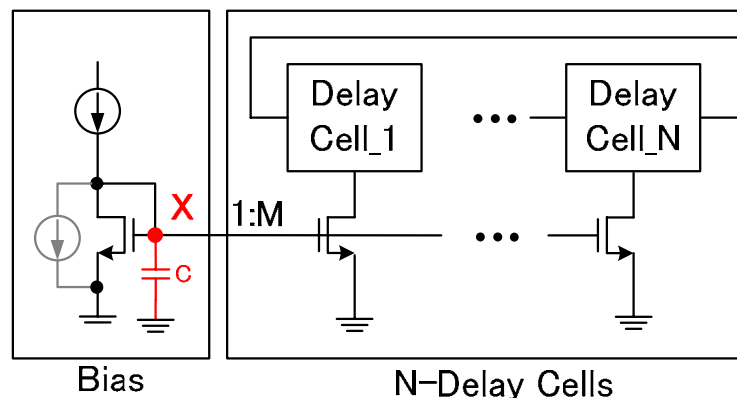
## PLL

[1] L. Dai , et al., *ISLPED*, 2000.

[2] A. Abidi, *JSSCC*, 2006

[3] W.F. Egan, New York : Wiley & Sons, 1981.

- 発振器の周波数制御のため、電流源を使用
- 電流源は電力消費を低減するため、遅延段より $1/M$ の電流を流す。
- 電流源MOSからの雑音の伝播
  - 雑音電力は $M^2$ 倍
  - $1/f$ 雑音の場合、 $M \times N$ 倍される [1],[2]
- 電流源MOSの $1/f$ 雑音を抑えるため、 $12\text{nF}$ の外付けキャパシターを使用[1],[2]



## シングルエンドバイアス[1]

[1] L. Dai , et al., *ISLPED*, 2000.

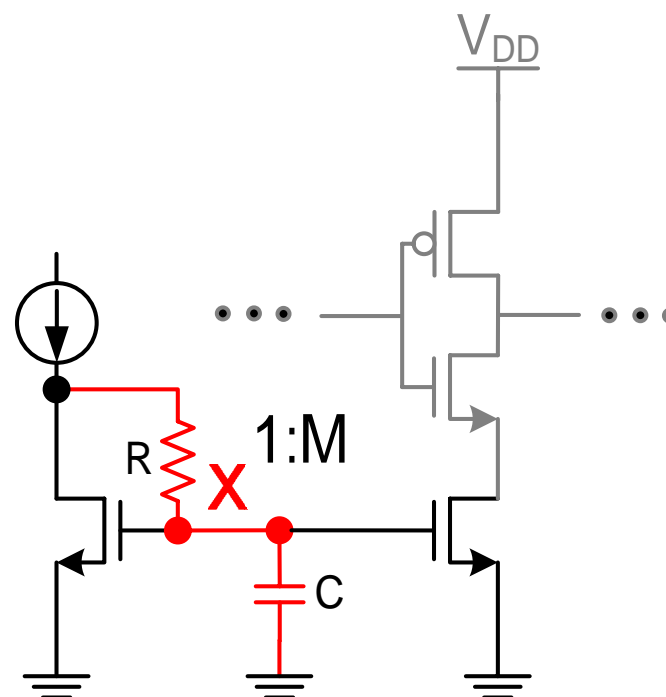
[2] A. Abidi, *JSSC*, 2006.

## • 提案回路

– カレントソースとカレントミラーの間にRCフィルタを投入

### – 課題

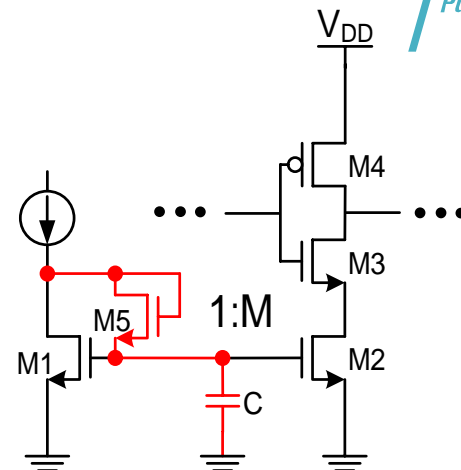
- 低周波数雑音をフィルタリングするためには、高いRとCが必要
- Ex) 遮断周波数: 100Hz、 $C = 10\text{pF}$ の場合、 $R \approx 160\text{M}\Omega$ が必要



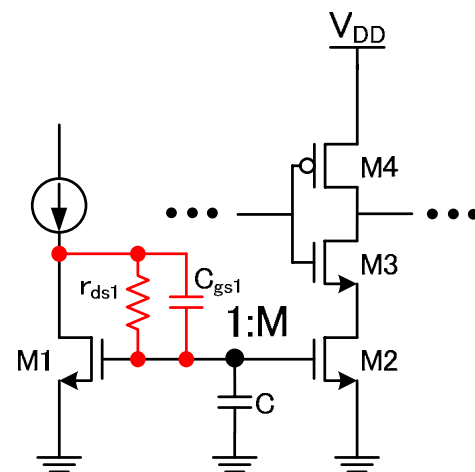
ローパスフィルタを持つ電流源

- MOSのダイオード接続を用いて高い抵抗を実現

- 小面積のRCフィルタ
- M5には電流が流れないため、非常に大きい抵抗と小さいC (チャンネル容量)と見なすことができる



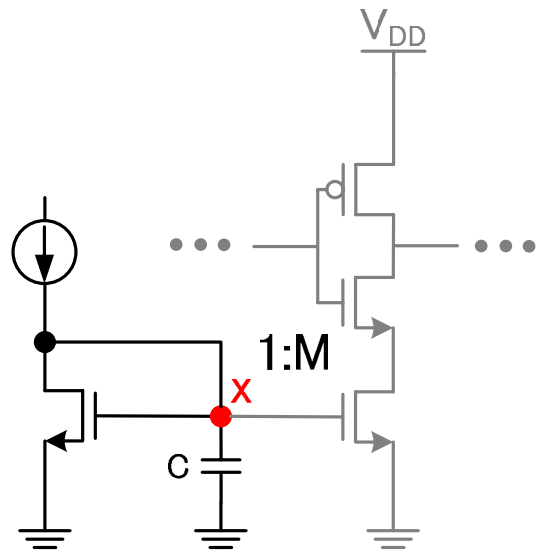
提案回路



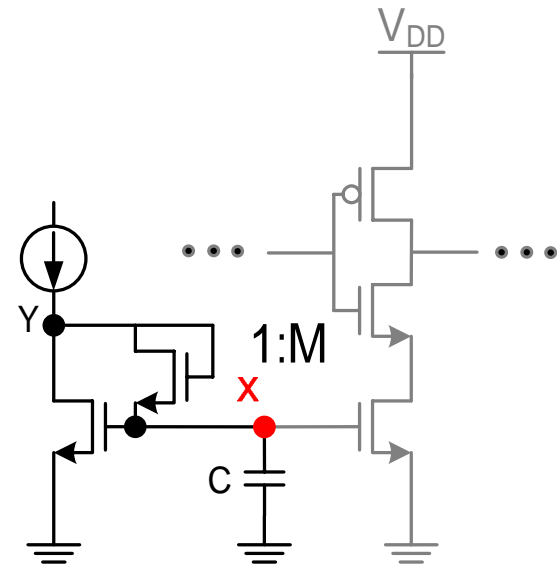
小信号等価回路

- 従来回路との比較

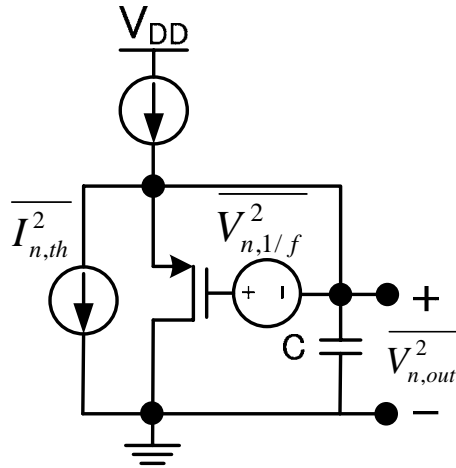
- ノードXでの出力雑音電力を比較
- 3段のシングルエンドインバータ型リング発振器において位相雑音の比較



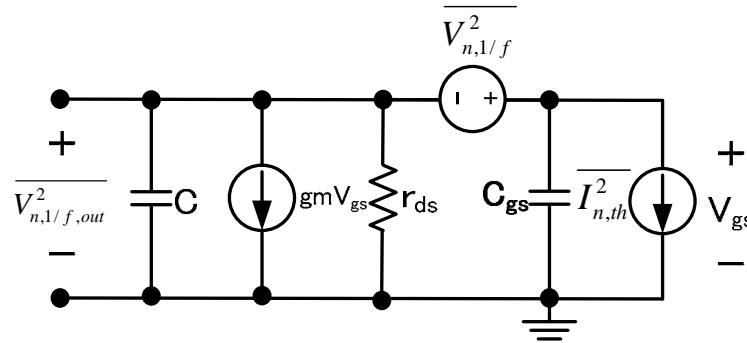
従来回路



提案回路



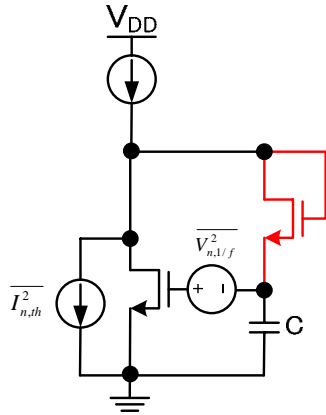
従来電流源



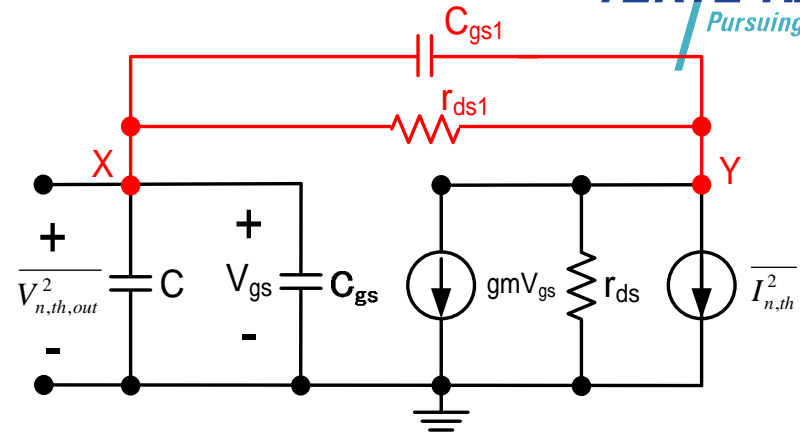
小信号等価回路

•出力雑音電力

$$V_{n,th,out}^2 = \left| \frac{1}{(C + C_{gs})} \times \frac{1}{\left( s + \frac{gmr_{ds} + 1}{r_{ds}(C + C_{gs})} \right)} \right|^2 4kT\gamma gm + \left| \frac{C_{gs}}{(C + C_{gs})} \frac{\left( s + \frac{gm}{C_{gs}} \right)}{\left( s + \frac{gmr_{ds} + 1}{r_{ds}(C + C_{gs})} \right)} \right|^2 \frac{k}{C_{ox}LW} \frac{1}{f}$$



提案電流源



小信号等価回路

## 出力雑音電力

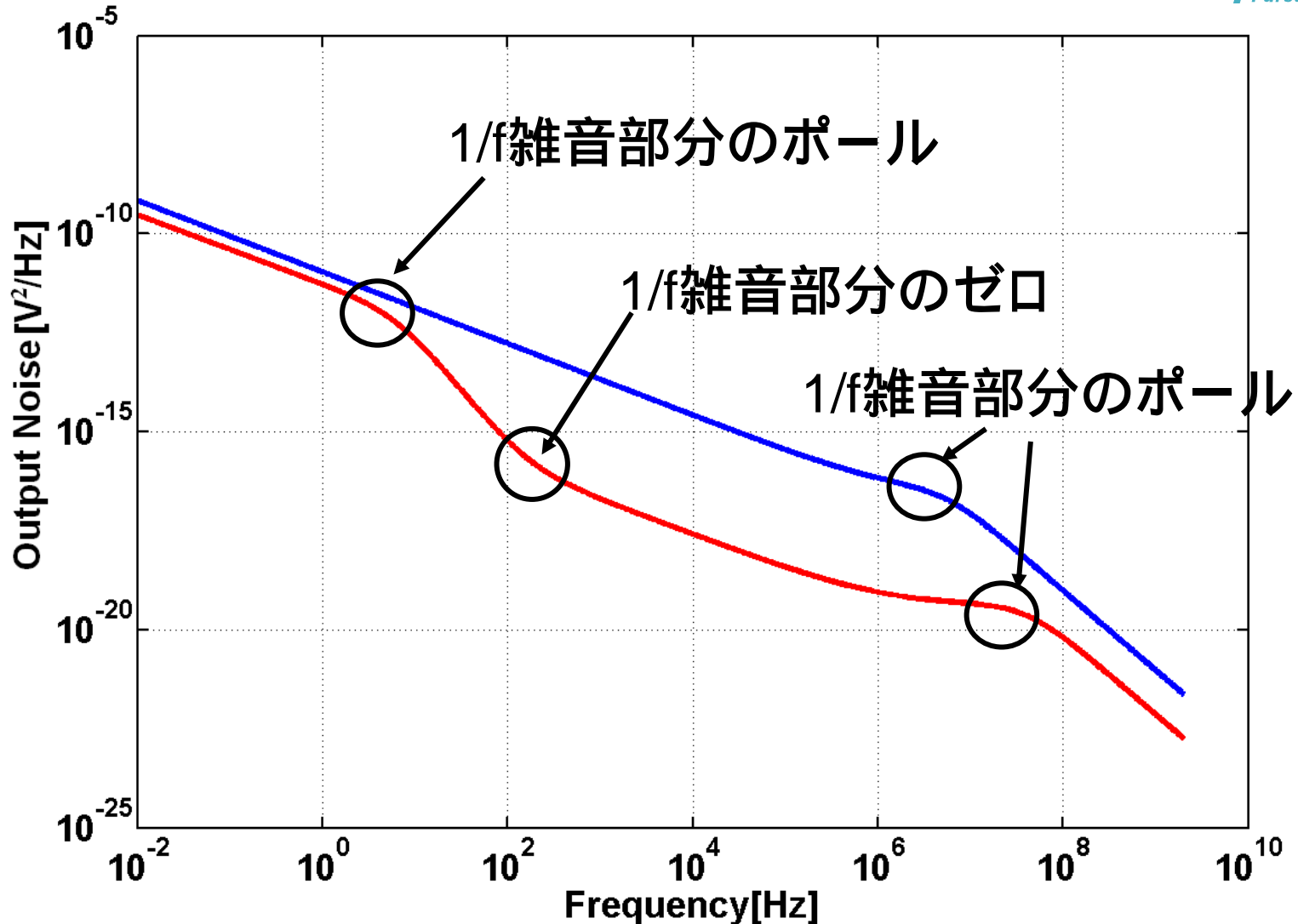
$$\overline{V_{n,out}^2} = \left| \frac{1}{(C + C_{gs})} \times \left[ s^2 + s \frac{\left\{ r_{ds} C + r_{ds} C_{gs} + r_{ds1} C + r_{ds1} C_{gs} + r_{ds1} C_{gs1} + r_{ds} r_{ds1} \cdot C_{gs1} \cdot gm \right\}}{r_{ds} r_{ds1} \cdot C_{gs1} (C + C_{gs})} + \frac{1 + r_{ds} \cdot gm}{r_{ds} r_{ds1} \cdot C_{gs1} (C + C_{gs})} \right] \right|^2 \cdot 4kT\gamma gm$$

$$+ \frac{k}{C_{ox} LW} \frac{1}{f}$$

$$\times \left| \frac{C_{gs}}{(C_{gs} + C)} \times \left( s^2 + s \frac{\left( r_{ds} \cdot C_{gs} + r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot gm \cdot C_{gs} + r_{ds1} \cdot C_{gs} \right)}{r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot C_{gs1} \cdot C_{gs}} + \frac{gm}{r_{ds1} \cdot C_{gs1} \cdot C_{gs}} \right) \right|^2$$

$$\left( s^2 + s \frac{\left( r_{ds1} \cdot C + r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot gm \cdot C_{gs1} + r_{ds1} \cdot C_{gs1} + r_{ds1} \cdot C_{gs} + r_{ds} \cdot C + r_{ds} \cdot C_{gs} \right)}{\left( r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot C_{gs1} \cdot C_{gs} + r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot C_{gs1} \cdot C \right)} + \frac{gm \cdot r_{ds} + 1}{\left( r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot C_{gs1} \cdot C_{gs} + r_{ds1} \cdot r_{ds} \cdot C_{gs1} \cdot C \right)} \right)^2$$

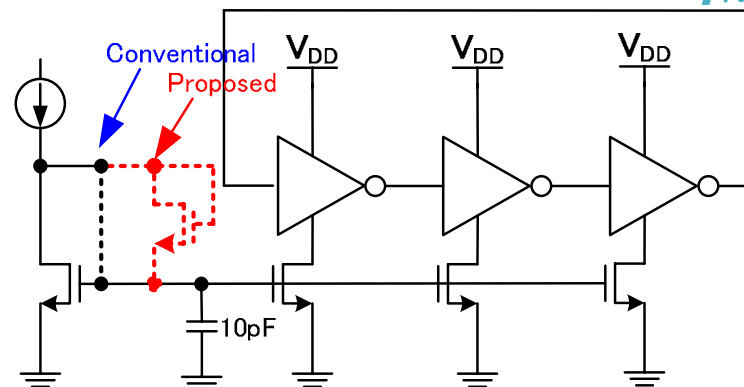




## 出力雑音電力の比較

# リング発振器での性能評価

- CMOS 0.18 $\mu\text{m}$  プロセス
- 電源電圧: 1.8V
- 3段のシングルエンドインバータ型リング発振器

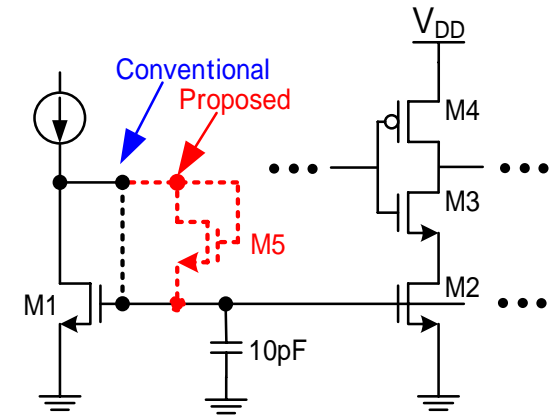
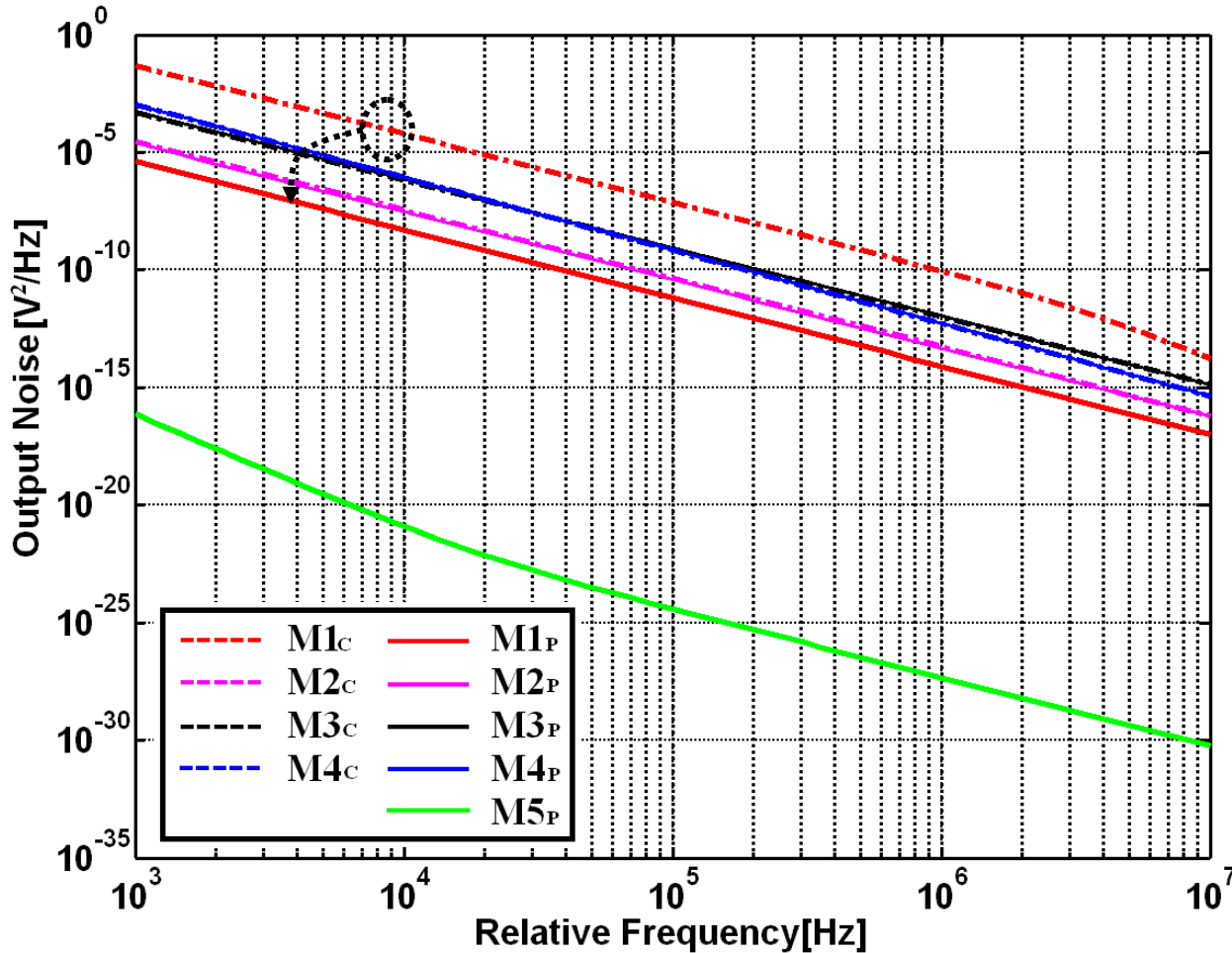


3段のインバータ型リング発振器

表. シミュレーション結果比較

	Proposed	Conventional
Frequency (GHz)	1.55	1.54
PN@ 10 kHz (dBc/Hz)	<b>-49.6</b>	-39.1
PN@ 100 kHz (dBc/Hz)	<b>-78.3</b>	-67.4
PN@ 600 kHz (dBc/Hz)	<b>-98.2</b>	-88.2
PN@ 1 MHz (dBc/Hz)	<b>-103.3</b>	-93.9
Current (mA)	2.58	2.58

- 電流源(M1)の出力雑音が40dB程度低減



## MOSの1/f雑音の出力雑音電力への寄与度の比較

- リング発振器用のローパスフィルタを持つ電流源を提案
- NMOSのダイオード接続を用いる高い抵抗を使用することで小面積のRCフィルタを実現
- 同一シングルエンドインバータ型リング発振器において位相雑音が10dB程度低減できることをシミュレーションで確認