

# 3Dインダクタによる ノイズフィルタリングを施した 二次高調波を利用した 電圧制御型発振器の検討

○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  
電子物理工学科専攻

- 研究背景
- Push-Push VCO
- 従来 of 回路構成
  - テールトランジスタ
  - テール抵抗
  - テールLC共振回路
- 提案する回路構成
- シミュレーションによる評価
- 結論

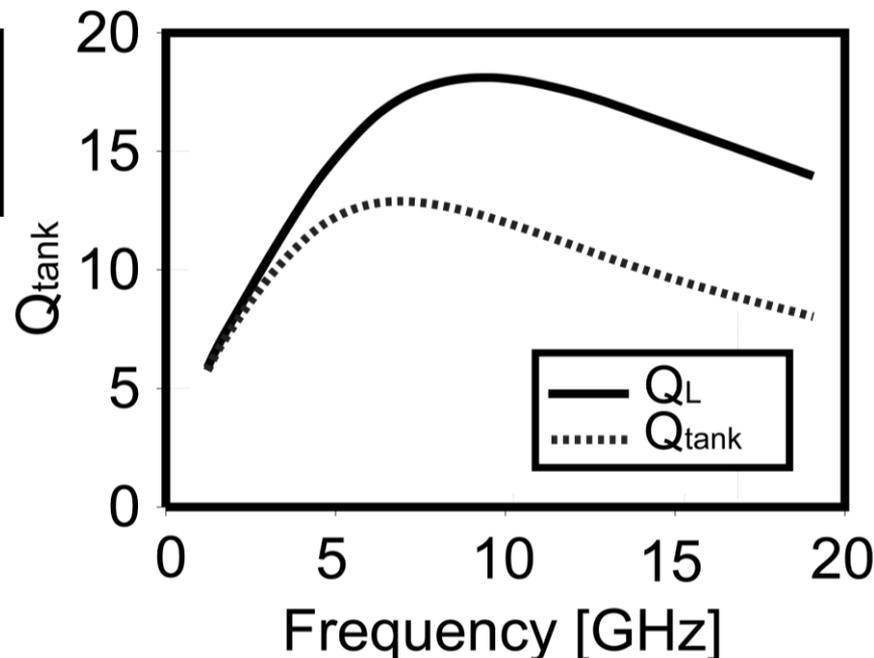
## Q値が発振器の位相雑音を決める主要要因

$$PN = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{4Q^2} \frac{f_0^2}{f_{\text{offset}}^2} \frac{2FkT}{P_{\text{sig}}} \right]$$

[1] Hajimiri, et al., JSSC 1998

$f_0$ : 発振周波数,  $f_{\text{offset}}$ : オフセット周波数  
 $k$ : ボルツマン定数,  $T$ : 温度,  $F$ : 雑音指数,

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

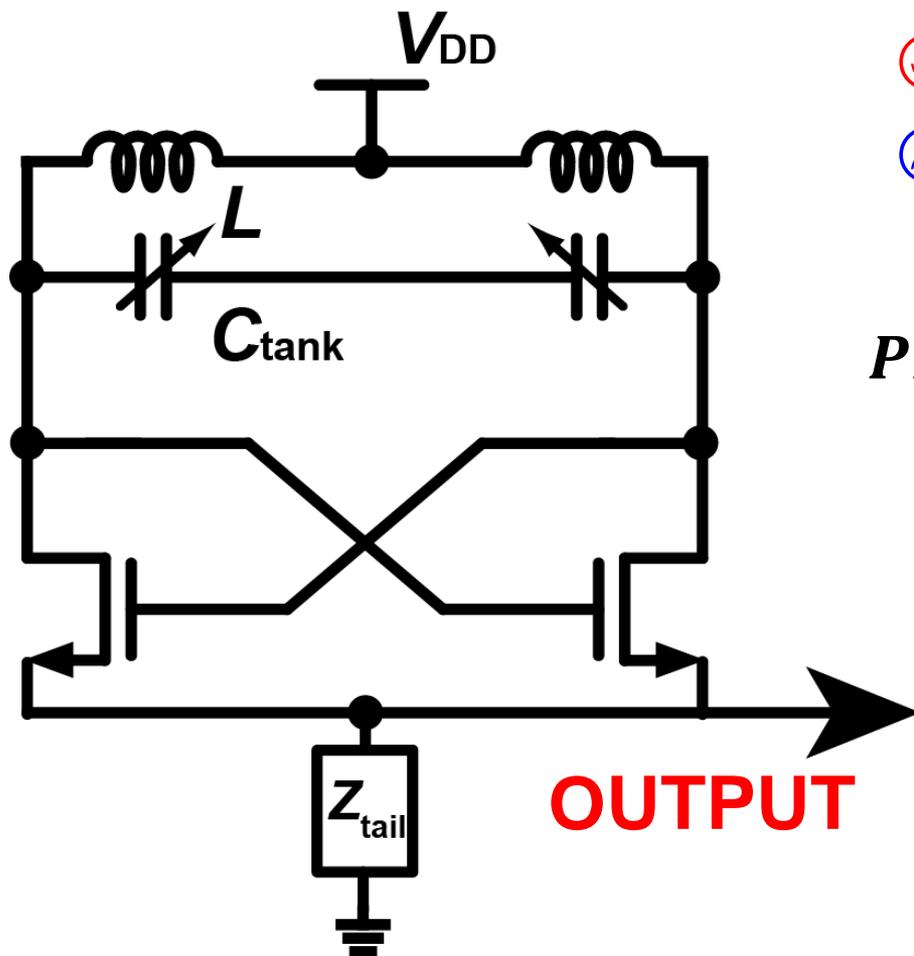


[2] Tee, et al., IEICE society 2012

Q値は高周波になるにつれて低くなる傾向

➡ 高周波仕様になるほど位相雑音改善が難しい

テール部に発生する二次高調波成分を出力として使用

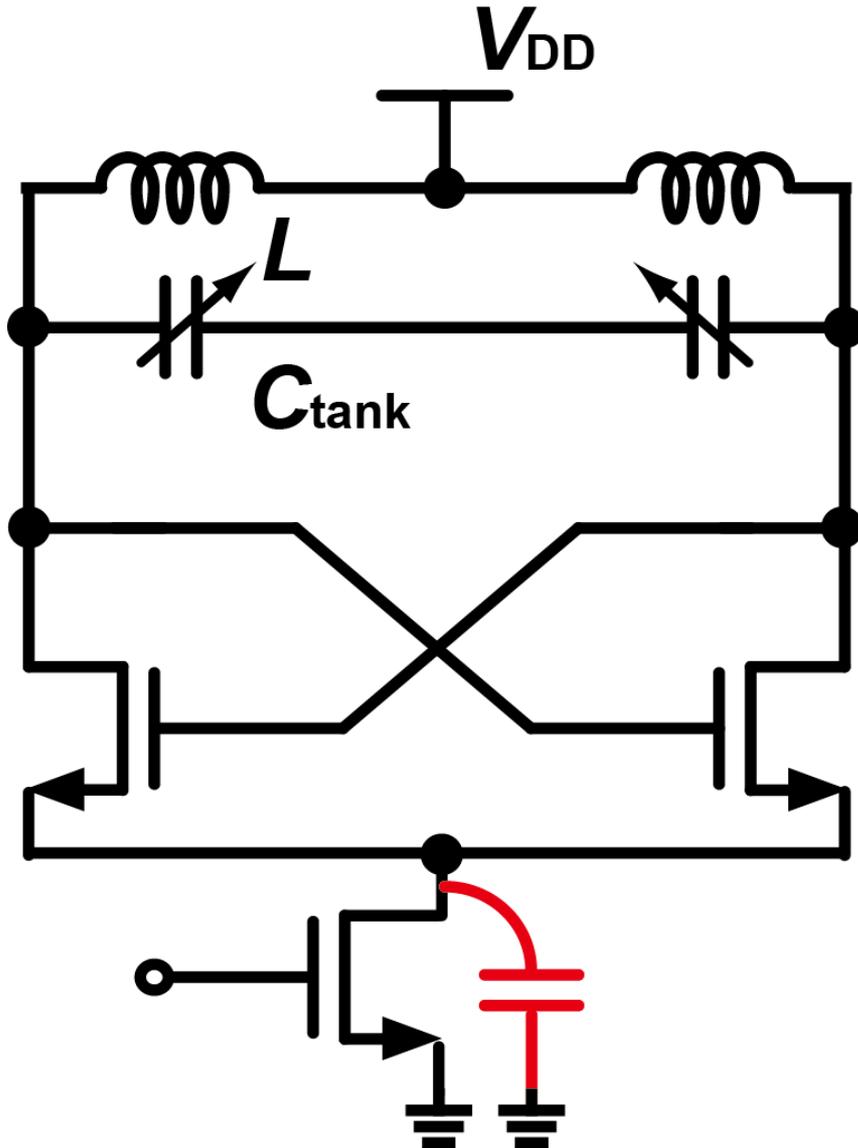


- 😊 Q値の良い素子を選べる
- 😞 出力パワーが小さい

$$PN = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{4Q^2} \frac{f_0^2}{f_{\text{offset}}^2} \frac{2FkT}{P_{\text{sig}}} \right]$$

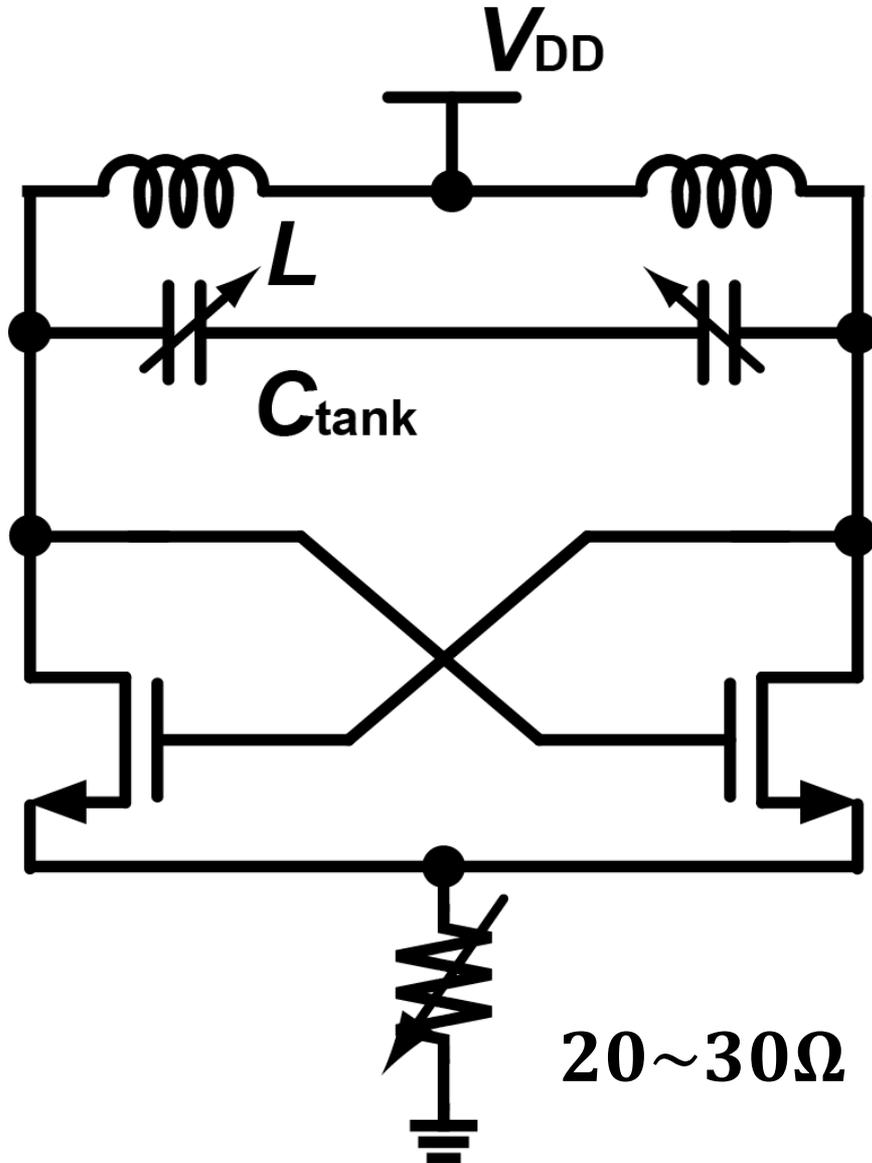
$$P_{\text{sig}} = Z_{\text{tail}} I_{2\omega_0}^2$$

二次高調波に対して  
高インピーダンスが必要



## テールトランジスタ

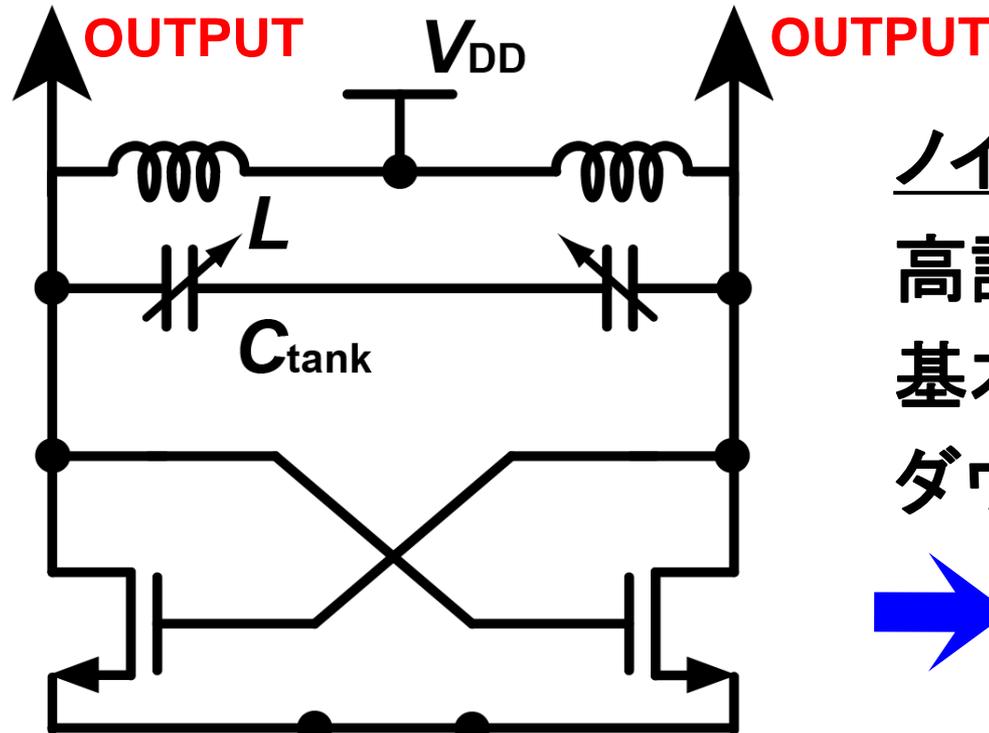
- 😊 電流制御性が高い
- 😊 小面積で実現可能
- 😞 高周波帯では寄生容量で低インピーダンスになる



## テール抵抗

- ☺ 寄生容量の影響が少なく高インピーダンス化できる
- ☺ 小面積で実現可能
- ☹ 極端な高インピーダンスは発振失敗しやすくなる

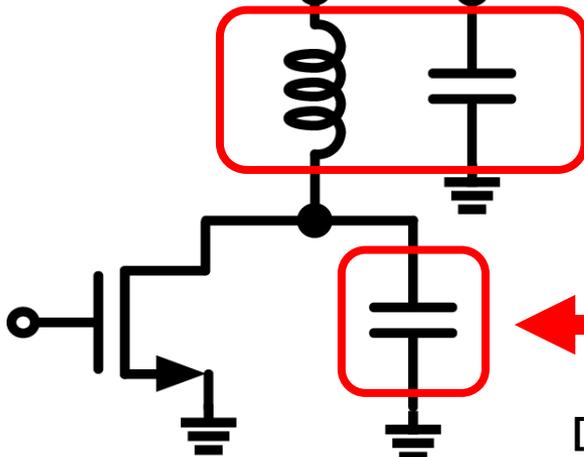
# テール素子による特徴③



ノイズフィルタリング

高調波電流成分を抑圧し  
基本周波数成分への  
ダウンコンバートを軽減

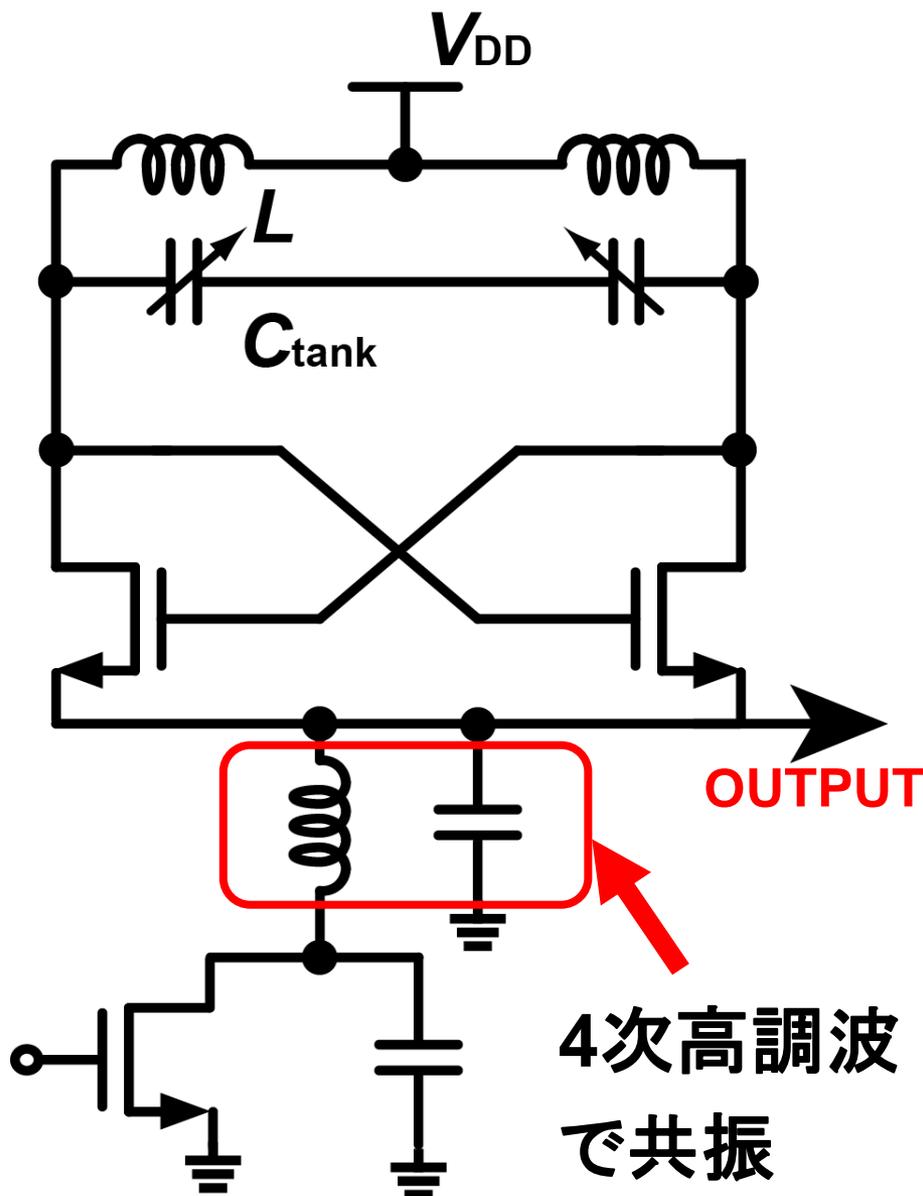
➡ 位相雑音の大幅な改善



← 2次高調波でLC並列共振

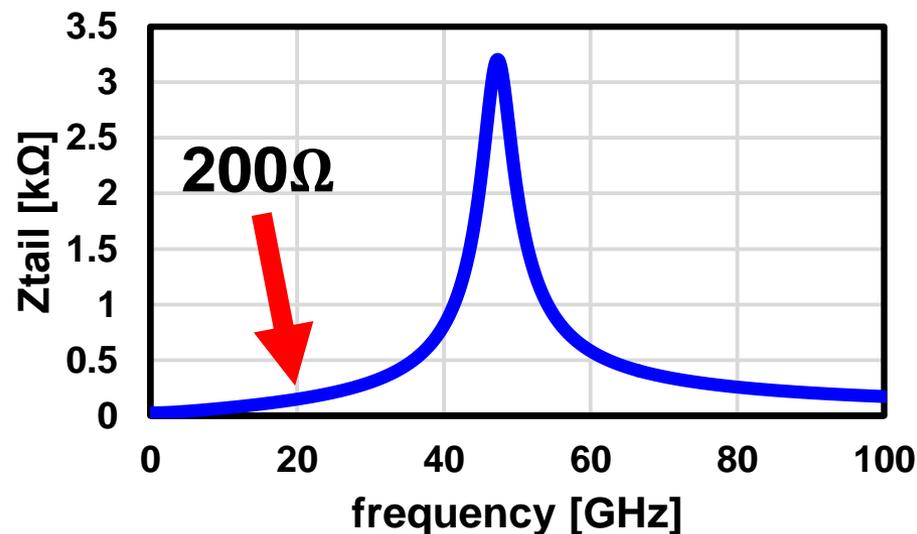
← 電流源のノイズバイパス

[3] E. Hegazi, et al., JSSC 2001

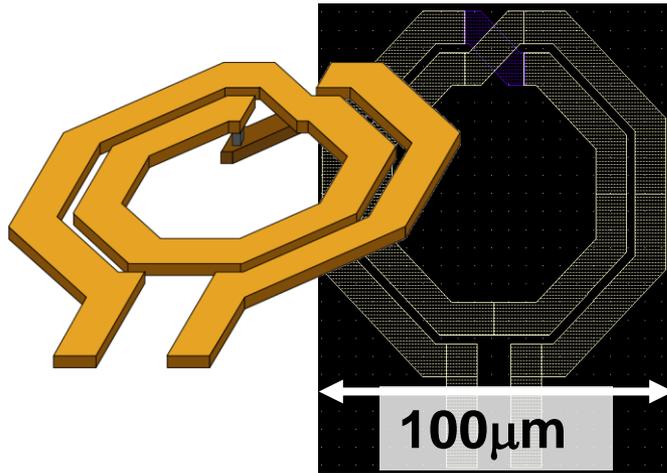


## ・テールLC共振回路

- ☺ 高調波成分を抑圧して位相雑音を改善
- ☺ 2次高調波に対して高インピーダンス化できる
- ☹ インダクタで面積倍増

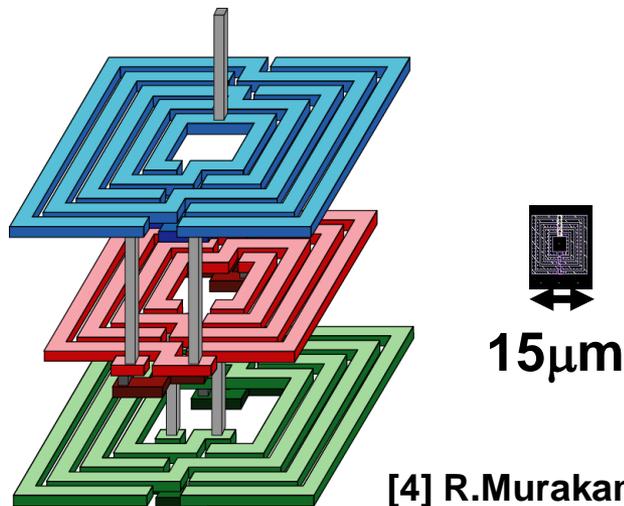


## 3次元インダクタを共振回路に使用



### 2次元インダクタ

- ・広い配線幅  
→ 低抵抗で高いQ値
- ・大きな半径  
→ 大きな面積



### 3次元インダクタ

- ・細い配線幅  
→ 高抵抗で低いQ値
- ・小さな半径  
→ 小面積

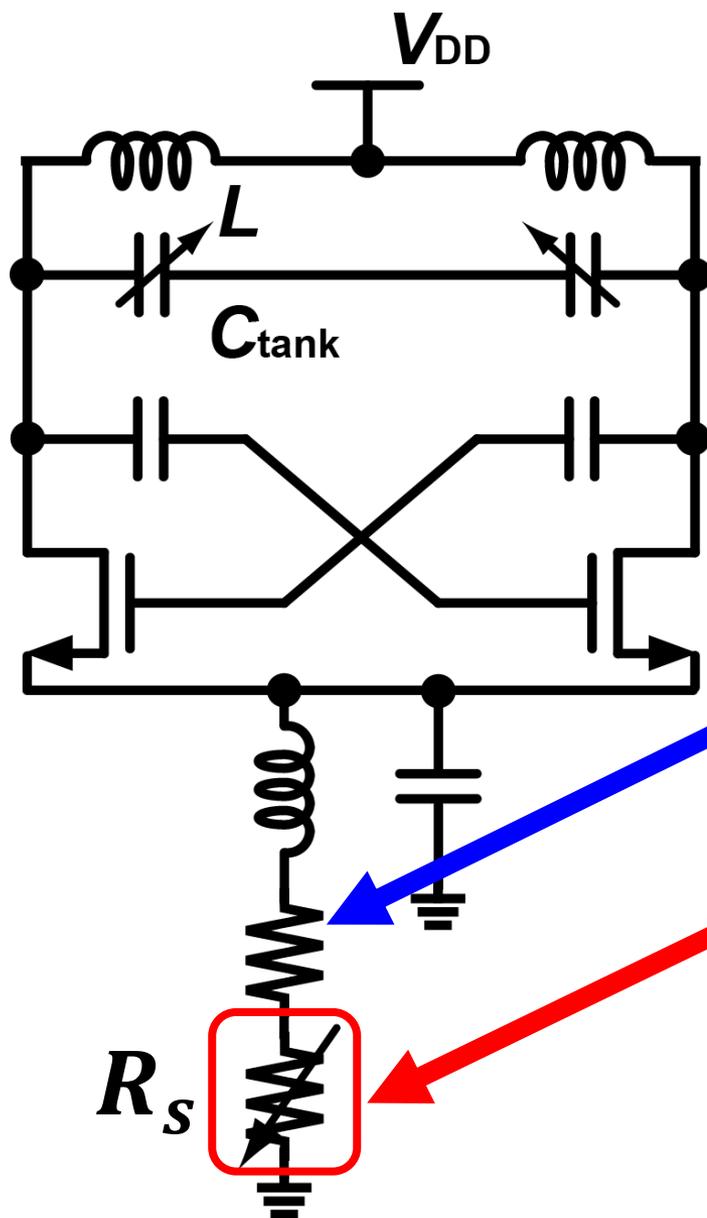
[4] R.Murakami, et al., EUMC 2010

- 😊 トランジスタ・抵抗と同等の面積コストで済む
- 😊 高インピーダンス化が可能
- 😊 高調波成分を抑圧可能

寄生抵抗が電流源として機能

電流制御用の可変抵抗

位相雑音・面積で優位



$$FoM = PN - 20\log_{10}\left(\frac{f_0}{f_{\text{offset}}}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{DC}}}{1\text{mW}}\right)$$

$$FoMA = FoM + 10\log_{10}\left(\frac{\text{Area}}{1\text{mm}^2}\right)$$

| 性能指標                     | トランジスタ | 抵抗     | LC共振   | 提案手法        |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------------|
| FoMA[dBc/Hz]             | -197.2 | -198.4 | -201.2 | <b>-202</b> |
| FoM[dBc/Hz]              | -185.7 | -186.8 | -190.8 | -190.5      |
| Size [ $\mu\text{m}^2$ ] | 0.07   | 0.07   | 0.093  | 0.07        |

**25%の面積削減**

- 結論

- Push Push型VCOのテール部にはトランジスタ、抵抗、LC共振回路が用いられていたが、どれにも位相雑音および面積面で問題があった。
- 3次元インダクタを使用することで、位相雑音と面積に関する問題を同時に解決することができた。

- 今後の課題

- 性能を維持したまま差動で出力できるようにする。