# フィードフォワード型ノイズキャンセル回路を用いた低雑音アクティブインダクタ

神谷　彩斗　　佐藤　隆英
山梨大学大学院電気電子システム工学専攻

## 1.　はじめに

電圧制御発振器(VCO)に用いられるインダクタの小面積化のため，アクティブインダクタの応用が行われている[1]. アクティブインダクタは雑音特性が劣るため，本研究では出力雑音電力を低減可能なアクティブインダクタを提案し，VCO へ応用する.

## 2.　提案するアクティブインダクタ

図 1 に提案するアクティブインダクタを示す. 提案回路は，文献[1]のアクティブインダクタにおいてソース接地増幅回路として動作する MOSFET を$M_1$，$M_4$，$M_5$からなる部分回路[2]で置き換えた構成である. 図 1 で破線で囲まれた$M_1$，$M_4$，$M_5$からなる部分回路のトランスコンダクタンス$G_m$は，

$$G_m = g_{m1} + g_{m4} g_{m5} r_b \tag{1}$$

となり，出力雑音電流の 2 乗平均$\overline{I_n}^2$は

$$\overline{I_n}^2 = \overline{I_{n1}}^2 + \overline{I_{n4}}^2 + (g_{m4} r_b - g_{m1} r_c)\overline{I_{n5}}^2 \tag{2}$$

となる. ただし，$r_b$および$r_c$は電流源$I_b$および$I_c$の出力抵抗であり，$\overline{I_{n1}}^2$，$\overline{I_{n4}}^2$，$\overline{I_{n5}}^2$はそれぞれ$M_1$，$M_4$，$M_5$の雑音電流の 2 乗平均である. 部分回路のトランスコンダクタンスは$g_{m1}$とゲート接地増幅回路の利得倍された$g_{m4}$の和となることから，大きな$g_{m5}$を用いることで大きなトランスコンダクタンスを実現できる. 一方，$M_5$で生ずる雑音は$g_{m4} r_b - g_{m1} r_c$倍されて出力端子に現れるため，$g_{m4}$を

$$g_{m4} = g_{m1} \times r_c / r_b \tag{3}$$

とすることで，$M_5$で生ずる雑音を出力雑音電流から除去できる.

破線で囲まれた部分回路を，文献[1]の回路で用いられていた MOSFET1 個のトランスコンダクタンスと等しくした時の$\overline{I_n}^2$は，式(3)の条件を満たすとき，

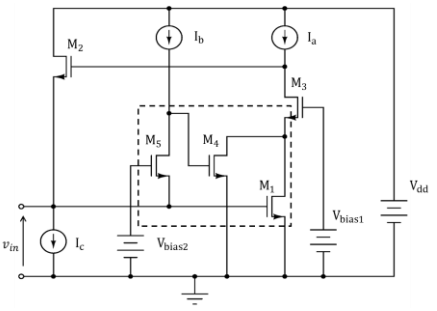


図 1　提案回路

表 1　アクティブインダクタの比較

| | 文献[1] | 提案回路 |
|---|---|---|
| 最小動作周波数[MHz] | 800 | 159 |
| 最大動作周波数[GHz] | 4.2 | 3 |
| 1Hzにおける出力雑音電力[V^2/Hz] | 7.20E-13 | 4.76E-13 |

表 2　VCO での比較

| | 文献[1] | 提案回路 |
|---|---|---|
| 発振周波数[GHz] | 2.4GHz | |
| 位相雑音 [dBc/Hz]@1MHz | -87.53 | -91.29 |

$$\overline{I_n}^2 = (r_b + r_c)\overline{I_{nt0}}^2 / r_b(1 + g_{m5} r_c) + (r_b{}^2 + r_c{}^2)\overline{I_{nf0}}^2 / (r_b{}^2(1 + g_{m5} r_c)^2) \tag{4}$$

と表すことができる. ただし，文献[1]の熱雑音と 1/f 雑音の 2 乗平均をそれぞれ$\overline{I_{nt0}}^2$と$\overline{I_{nf0}}^2$としている. これより提案回路では，$g_{m5}$を大きく設計することで熱雑音と 1/f 雑音を共に低減可能であることが分かる.

## 3.　計算機シミュレーション

文献[1]の回路と提案回路をシミュレーションにより比較した結果を表 1 に示す. 提案回路は文献[1]の回路と比べ出力雑音電力が約 35%低減することができている. 文献[1]の回路と提案回路を LC-VCO に応用した結果を表 2 に示す. 提案回路の使用により従来回路を使用した場合に比べ，約 4dBc/Hz 位相雑音が低減できる.

## 4.　まとめ

本研究では，出力雑音電力を低減したアクティブインダクタ提案した. また，提案回路を LC-VCO に適用することにより，VCO の位相雑音が低減可能であることを示した.

## 参考文献

[1] Kuo-Hsing，” A 0．9- to 8-GHz VCO With a Differential Active Inductor for Multistandard Wireline SerDes”，IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS　ANDSYSTEMS，Vol. 61，No．11，pp．559-563，Aug．2014

[2] Chih-Fan Liao，” A Broadband Noise-Canceling CMOS LNA for 3．1–10．6-GHz UWB Receivers”，IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS，VOL．42，NO．2，FEBRUARY 2007


Copyright © 2017 IEICE