

電流ノイズに鋭敏な CMOS 発振器群における雑音誘起位相同期

Noise-Induced Phase Synchronization among Current-Noise-Sensitive Analog CMOS Oscillators

松浦 正和
Masakazu Matsuura

宇田川 玲
Akira Utagawa

浅井 哲也
Tetsuya Asai

雨宮 好仁
Yoshihito Amemiya

北海道大学 大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

1 まえがき

近年、互いに独立した複数の発振器が雑音を利用して同期する現象が注目されている [1]. 以前、我々はこの現象を利用して LSI 内におけるクロック信号遅延を低減する手法 [2] を提案したが、この現象は LSI 内に限らずもっと広く利用できそうだ. 例えば照明を部屋の中にくまなく存在する雑音源とみなし、屋内に分散配置されたセンサ群の基準クロック源を照明光のゆらぎで同期させる、などの応用が考えられる. 本稿では光源が生成した雑音 (電流ノイズ) を受けることができる発振器を提案し、回路シミュレーションによりそれらの発振器間の位相同期現象を示す.

2 提案する CMOS 発振器

図 1 に提案回路を示す. 文献 [2] で我々が提案した回路をもとに作成した (動作原理は [2] を参照). 図 1 の点線内部が今回新たに付け加えた回路である. バイアス電位 V_b がインバータの基準電流を決める. ランダムパルス電流 (光源が生成する雑音を模擬) I_n を用いて i 番目の発振器の出力電位 V_i を変化させ雑音誘起同期現象 [1] を引き起こす.

3 回路シミュレーション結果

TSMC 0.25 μm パラメータを用い、 $V_b = 0.5 \text{ V}$, $V_{dd} = 2.5 \text{ V}$ とした. 図 2 に雑音なし ($I_n = 0$) とあり ($I_n \neq 0$) の場合の V_i の時間変化を示す. 電流パルスの印加により位相が変調されることを確認した. その位相の変化量 ($\Delta\phi_i(t)$) と電流パルスの印加タイミング t (位相: $\phi_i(t)$) の関係 (位相応答曲線) を図 3 に示す. ここで初期位相の異なる発振器 1 (位相: $\phi_1(t)$) および 2 (位相: $\phi_2(t)$) を考える. $\phi_1(t) \approx 0 \text{ rad}$, $\phi_2(t) \approx \pi/4 \text{ rad}$ とすると図 3 より $\Delta\phi_1 \approx 0.9 \text{ rad}$, $\Delta\phi_2 \approx 0.3 \text{ rad}$ であるため $\phi_1(t) - \phi_2(t)$ は $\pi/4 \text{ rad}$ 程度から 0.18 rad 程度へ減少する. つまり、パルス電流が加わることで位相差が減少するはずである. その確認のために、10 個の発振器に共通の雑音 (パルス電流列) を与えて回路シミュレーションを行なった. そのラスタプロットを図 4 に示す. 図中の縦線は V_i の立ち上がり時刻を表す. 雑音ありのとき [図 4(a)], 位相差は時間経過とともに減少した (雑音なしのとき [図 4(b)] は時間が経過しても位相差は変化しなかった). これらの位相同期の度合いを定量的に評価するためのオーダーパラメータ $R(t)$ ($R(t) = 1$ のとき同期, $R(t) < 1$ のとき非同期を表わす) の時間変化を図 5 に示す. 雑音を与えなかった場合 (点線) は $R(t)$ は 1 にならなかったが、雑音を与えた場合 (実線) は $R(t)$ は $0.7 \mu\text{s}$ 付近で 1 になった. 今後、発振器の電流源 I_n

をフォトダイオードで置き換えて、光源が生成する雑音により発振器群の位相同期を確認する予定である.

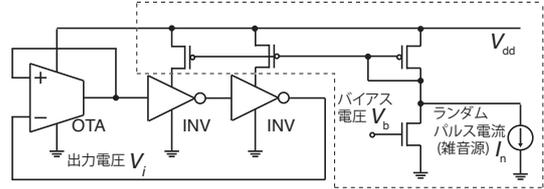


図 1 雑音源を含む CMOS 発振器

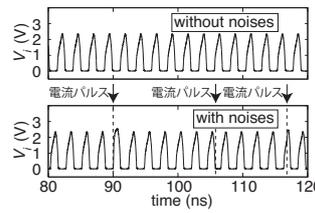


図 2 V_i の時間変化

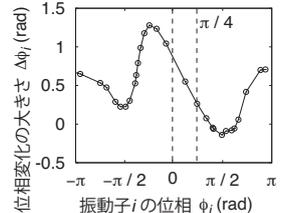


図 3 位相応答曲線

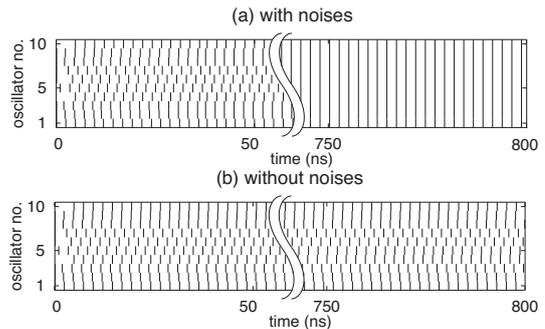


図 4 ラスタプロット; (a) 雑音あり, (b) 雑音無し

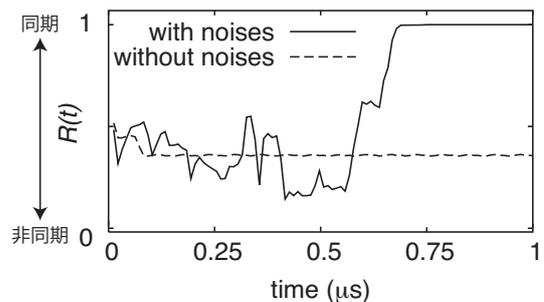


図 5 オーダーパラメータ $R(t)$ の時間変化

参考文献

- [1] K. Arai and H. Nakao, Phys. Rev. E, 77, pp. 036218, 2007.
- [2] A. Utgawa, et al., IEICE Trans. Fundamentals, vol. E91-A, no. 9, pp. 2475-2481, 2008.