

サブスレッショルド MOS 回路のためのナノアンペア電流源

Nano-ampere current source for subthreshold MOS circuits

山本和輝 飯田智貴 浅井哲也 雨宮好仁
 Yamamoto Kazuki Iida Tomoki Asai Tetsuya Amemiya Yoshihito

北海道大学 情報科学研究科
 Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

極低電力で動作させるサブスレッショルド CMOS 回路では、ナノアンペアかそれ以下の微小バイアス電流を必要とする場合がある。このように小さい電流を抵抗や電流ミラーで直接生成することは、大きい回路面積や高い素子精度を要して実用的でない。ここでは、電流パルスのデューティ比を利用した微小電流の生成法を提案する。

2. 微小電流の生成法

微小電流の生成モデルを図1に示す。はじめに、ある電流 I_0 をつくり、それを周期的にスイッチングしてパルス電流 I_{pp} とする。 I_{pp} をローパスフィルタで平均化して一定の出力電流 I_{out} を得る。 I_{out} はパルスのデューティ比 $D (= t/T)$ を用いて $I_{out} = I_0 \times D$ と表される。これはスイッチング周波数には依らない。

はじめの電流 I_0 は生成しやすい大きさの小電流とする。デューティ比 D は分周器で正確に設定できるので、微小電流 I_{out} を I_0 と同じ設定精度でつくりることができる。たとえば 100 pA の微小電流を生成したいときは、 $D = 1/1000$ として $I_0 = 100 \text{ nA}$ であればよい。この大きさの電流は比較的容易に生成できる。

2. 回路の構成

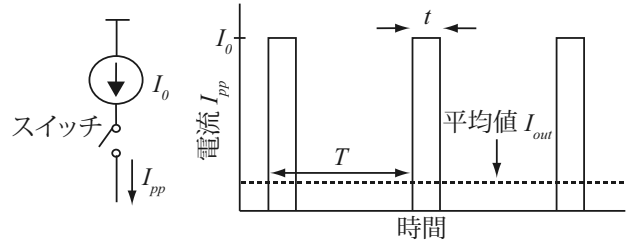
電流源の回路を図2に示す。ここでは I_0 を抵抗 R_1 とトランジスタ M1 で生成した。この代わりに β 乗算型の回路で生成してもよい。この I_0 を電流ミラーで M2 に移し、それを M3 でスイッチングする。スイッチング信号 V_s はリングオシレータ、分周器、および信号生成回路で生成する。

スイッチングで発生したパルス電流 I_{pp} を C と R_2 のローパスフィルタで平滑して一定電流 I_{out} を生成する。そのあと電流ミラーを通して出力を取り出す。

4. 回路動作と出力電流 (シミュレーション)

この電流源の動作をシミュレーション解析した。デバイスパラメータには $0.35 \mu\text{m-CMOS}$ の数値を用いた。出力 100 pA 用に設計したときの回路パラメータは次のとおりである：リングオシレータのインバータ段数 = 5, T-F/F による分周比 = 1024, 電源電圧 $V_{dd} = 3 \text{ V}$, $R_1 = 25 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ M}\Omega$, $C = 100 \text{ pF}$ 。なお、リングオシレータとすべての論理回路には電流制限型のゲートを使用した。

回路動作のシミュレーション例を図3に示す。電源電圧を加えると出力電流 I_{out} が立ち上がり、およそ 1 秒で安定した。出力電流の平均値は 107 pA 、リップル幅は 14 pA であった。なお、リングオシレータや分周器などを含む回路全体の消費電力は 700 nW であった。以上により、ナノアンペア以下の電流を正確に生成できることを確認した。



(a) 電流のスイッチング (b) 電流の波形
 図1 微小電流の生成法

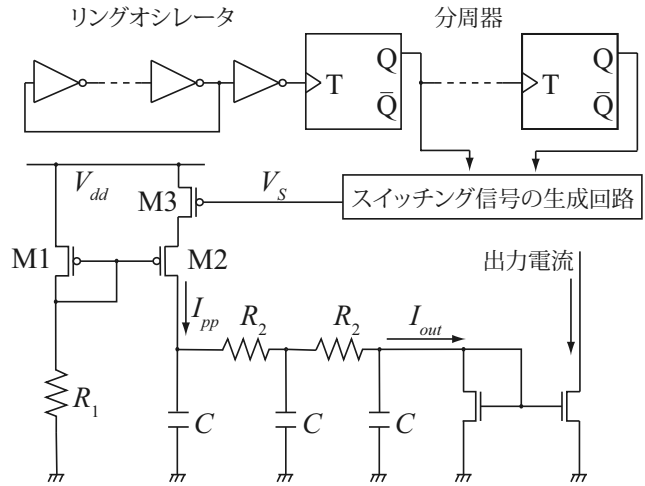


図2 ナノアンペア電流源の回路構成

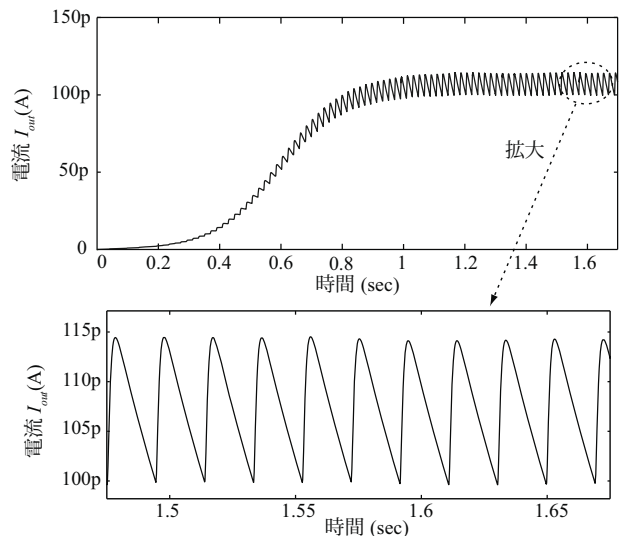


図3 回路の動作 (電流立ち上がりのシミュレーション)