

サブスレッショルド MOS を利用したスマート温度センサ LSI

Smart Temperature-Sensor LSI using Subthreshold MOSFETs

上野 憲一, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Ken Ueno, Tetsuya Hirose, Tetsuya Asai, 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

MOSFET のサブスレッショルド電流特性を利用した温度センサを提案する。サブスレッショルド電流は温度に対して鋭敏(指数的)に変化する。また、その電流値は数十 nA オーダの微小電流であり極低電力の動作である。この特性を利用することで、従来方式とは異なる温度センサ LSI を構成することができる。実際にセンサ回路を設計し、その動作を SPICE シミュレーションにより確認した。このセンサは、サブスレッショルド動作の CMOS 回路で構成し、6 μ W 程度の極低消費電力で動作する。

2. 回路構成

MOSFET のサブスレッショルド電流を利用することで、絶対温度に比例する PTAT (Proportional To Absolute Temperature)電流を生成することが可能である。PTAT 電流は、温度センサとして使用するときに都合がよい。図 1 に温度センサの回路構成を示す。バイアス回路で一定電圧を生成し、PTAT 電流回路に入力する。PTAT 電流回路で生成された電流を積分器、比較器、D-F/F、カウンタから構成される A/D コンバータによりデジタル値に変換して出力とする。図 2 に PTAT 電流の生成方法を示す。バイアス回路の抵抗 R に一定電流を流すことで、抵抗の両端に一定電圧 (V_{G1} , V_{G2}) を生成する。抵抗 R は、温度係数の小さい金属皮膜抵抗をオフチップで使用する。この電圧を M_{B1} , M_{B2} のゲート電圧に印加してサブスレッショルド電流 (I_{D1} , I_{D2}) を生成し、それらを電流ミラー回路で PTAT 電流回路に入力する。 $M1 \sim M6$ のゲート・ソース間電圧は閉ループを形成するのでトランスリニア則が成り立つ[1]。これにより、出力電流 (I_{OUT}) は絶対温度に比例する PTAT 電流となる。

3. シミュレーション結果

図 3 に構成した温度センサ回路の SPICE シミュレーション結果を示す。使用プロセスは、0.35 μ m-2P4M, CMOS プロセスである。電源電圧は(ボタン電池の使用を想定して)1.5 V とした。図 3(a)に、PTAT

出力電流 (I_{OUT}) の温度特性を示す。-20 $^{\circ}$ C \sim 100 $^{\circ}$ C の範囲で温度変化させた。参照電流 I_{REF1} を 100 nA、抵抗 R を 100 k Ω に設定した。温度上昇に伴い電流がリニアに増大することが確認できる。この電流を A/D コンバータによりデジタル値に変換する。図 3(b)に、A/D コンバータに用いた積分器の出力電圧を示す。温度の上昇に従って、PTAT 出力電流が増加するため、それに伴い積分量が增大している。この積分量を比較器と D-F/F によりパルス周波数に変換する。このパルス周波数をカウンタで計数することで PTAT 出力電流のデジタル値を得ることができる。

(文献: [1] Shih-Chii. Liu. et al., "Analog VLSI : Circuit and Principles", MIT Press, 2002.)

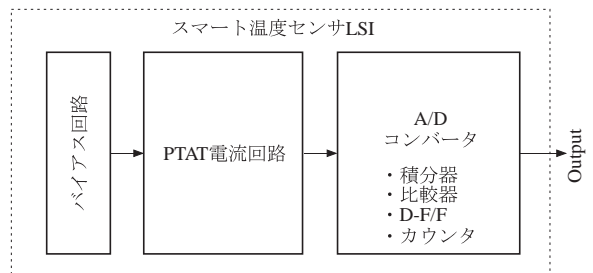


図 1. 温度センサの回路構成.

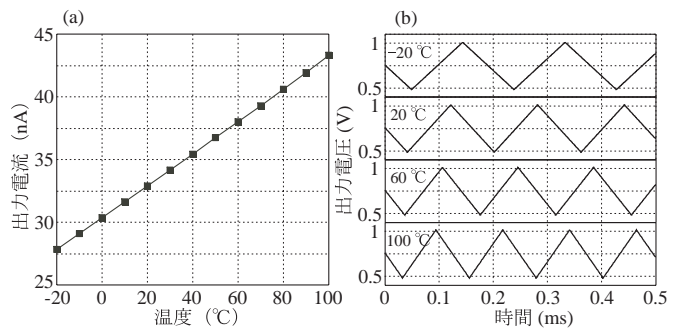


図 3.(a)PTAT 電流回路の出力電流, (b)A/D コンバータに使用した積分器の出力波形シミュレーション結果.

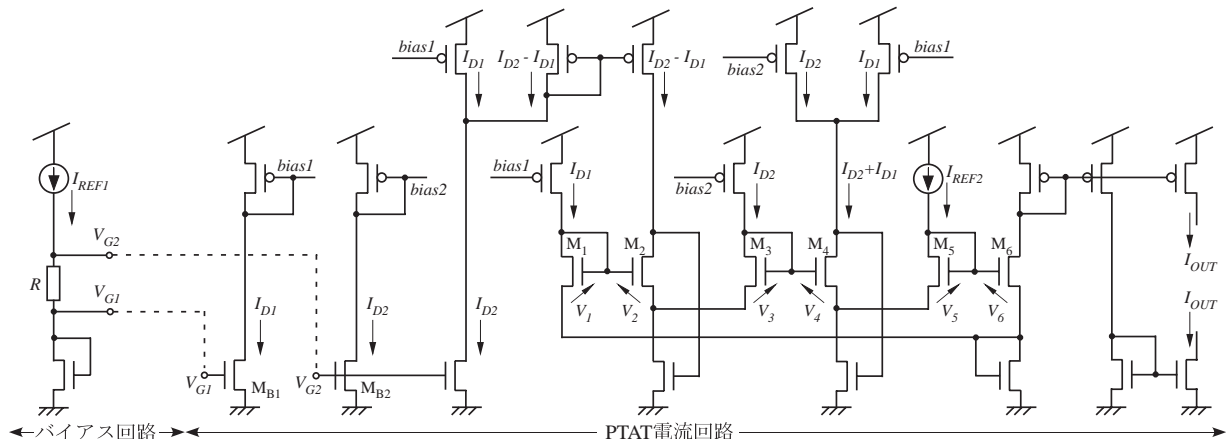


図 2. PTAT 電流の生成.