

サブスレッショルド CMOS 回路による しきい値電圧を参照した基準電圧源回路

CMOS voltage reference based on threshold voltage consisting of subthreshold circuits

上野 憲一
Ken Ueno

廣瀬 哲也
Tetsuya Hirose

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
Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1 まえがき

ユビキタス情報環境の到来にともない、微小電力供給のもとで数年以上に渡り連続動作可能なスマートセンサ LSI の開発が求められている。このようなセンサ LSI は、様々な使用環境が想定されるため、広い温度範囲や電源電圧の変動のもとで安定に動作する基準電圧源回路が不可欠である。そこで本研究では、絶対零度での MOSFET のしきい値電圧を出力する基準電圧源回路を開発した。この回路は、従来の電圧源回路で使用している抵抗素子を用いずにサブスレッショルド領域と強反転線形領域で動作する CMOS 回路のみで構成し、 $0.5 \mu\text{W}$ の極低電力動作を実現した。

2 回路構成

図 1 に提案する基準電圧源回路の回路構成を示す。この回路は、 β 乗算型自己バイアス回路で使用される抵抗体の代わりに強反転線形領域で動作する MOSFET を使用した電流源サブサーキットと、ダイオード接続 MOSFET (M_4) と 2 つの差動対 ($M_3 - M_6, M_5 - M_7$) を組み合わせた電圧源サブサーキットから構成される。差動対を用いることにより、差動対のゲート端子間に正の温度係数電圧を生成し、ダイオード接続 MOSFET の示す負の温度係数電圧と加算して一定電圧を生成する。電流源サブサーキットで生成した電流 I_P をカレントミラー回路により電圧源サブサーキットへ供給し、トランジスタ M_7 のゲート電圧に基準電圧 V_{REF} を生成する。この電圧 V_{REF} は、温度に対して一定の電圧を出力し、参照電圧源として使用することができる。トランジスタ M_{R1}, M_{R2} は強反転線形領域で動作し、他のトランジスタはすべてサブスレッショルド領域で動作する。

3 シミュレーション結果

提案した基準電圧源の SPICE シミュレーション結果を示す。使用プロセスは、 $0.35 \mu\text{m}$ -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。温度を $-20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ まで変化させたときの出力電圧 V_{REF} のシミュレーション結果を図 2(a) に示す。参照電圧値は 0.81 V であり温度に対してほぼ一定の特性である。その平均値からの温度変化率は $\pm 0.2 \%$ 以内である。製造プロセスバラツキに対する回路動作検証のためのモンテカルロシミュレーション結果を図 2(b) に示す。出力電圧 V_{REF} の温度に対する変化率 $\Delta V_{REF}/\overline{V_{REF}}$ を示している。トランジスタのプロセス変動による絶対バ

ラツキ (均一分布を想定)、およびランダムバラツキ (ガウス分布を想定) を考慮した。その変化率は、すべてのシミュレーションにおいて $\pm 0.3 \%$ 以内に抑制することができている。表 1 にシミュレーション結果のまとめを示す。以上の結果より、微小電力供給のもとで動作する回路システムにおける基準電圧源回路として使用することができる見通しを得た。

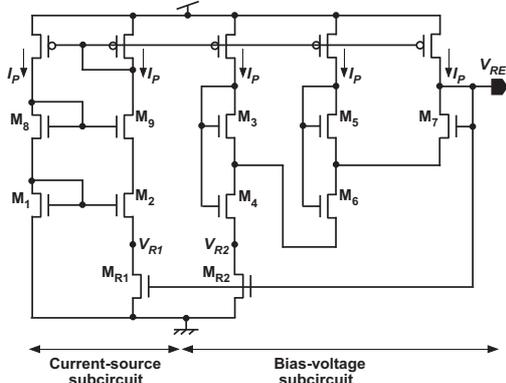


図 1 提案するしきい値電圧参照型 CMOS 電圧源回路。

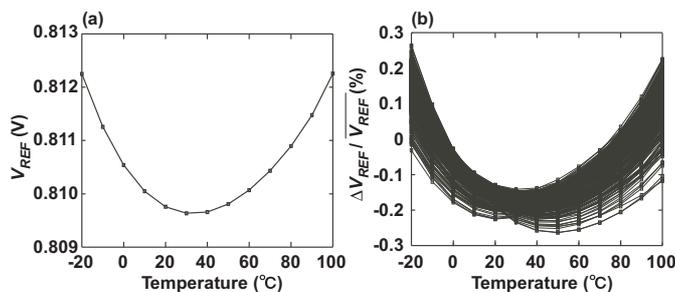


図 2 (a). 出力電圧 V_{REF} の温度特性, (b). モンテカルロ解析 (1 k-point) による出力電圧 V_{REF} の誤差特性。

表 1 性能諸元

Technology	0.35- μm , 2-poly, 4-metal CMOS
Temperature range	$-20 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$
V_{DD}	1.5 V
V_{REF}	0.81 V (TYP.)
Power	$0.53 \mu\text{W}$ ($T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)
$\Delta V_{REF}/\overline{V_{REF}}$	$\pm 0.3 \%$ ($T = -20 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$) $\pm 0.5 \%$ ($V_{DD} = 1.2 - 3 \text{ V}$)
PSRR	-45 dB ($f=100 \text{ Hz}$)
Chip area	$0.035 \text{ mm}^2 (=190 \times 186 \mu\text{m})$