

弱反転 MOSFET を用いた品質管理・温度履歴モニタ回路

Watch-dog Circuit for Quality Guarantee and Temperature History with Subthreshold Current

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
Department of Information Science and Technology, Hokkaido University

1. はじめに

MOSFET の弱反転電流特性を利用して低消費電力の温度履歴モニタ IC を構成できる。このモニタ IC を対象物に貼付けて温度履歴を追跡し、そのデータから対象物の品質変化・劣化・クリープの程度を予測して品質保証と安全使用の参考にすることができる。とくにアレニウスの式に従う劣化過程を追跡するモニタ IC は応用範囲が広い。そのための回路として、演算増幅器を主体とした乗除算・積分器の構成を先に提案した [1]。ここでは、チップ面積と電力消費をさらに小さく抑え、かつ活性化エネルギーの設定上限を大きく改善できる改良型の回路構成を提案する。

2. 回路構成

モニタ IC に必要な機能は次の二つである：(i) 活性化エネルギー値を広い範囲で調節可能、および (ii) アレニウスの式を時間積分して記憶。そのための回路構成を図 1 に示す。弱反転 MOSFET のトランスリニア乗除算器に二つの基準電圧 V_{GS1} と V_{GS2} を入れて活性化エネルギー E_a を設定し、アレニウスの式に従う出力電流 I_{OUT} を取り出す。この電流でリング発振器を動かし、その発振パルス数をカウンタで計数して I_{OUT} の時間積分に比例する計数値を得る。大きな活性化エネルギーを得るために、カウンタ値をデジタル回路で累乗する。一定の短い時間 ΔT ごとにカウンタ値を n 乗して累積すれば、等価的に n 倍の活性化エネルギーとすることができる。一定の時間間隔を得るには、温度に関係しない基準電流 I_0 でリング発振器を動かし、そのパルス数を計数すればよい。

3. トランスリニア回路の動作

この構成に使用するトランスリニア乗除算回路を図 2 に示す [2]。2つの入力バイアス V_{GS1} , V_{GS2} により弱反転電流 I_{D1} , I_{D2} を生成し、電流ミラーでトランスリニア回路に入力する。M1, M2, M3, M4 のゲートとソースは閉ループを構成するので、出力電流 I_{OUT} は次式で表せる。

$$I_{OUT} = I_{REF} \frac{I_{D2}}{I_{D1}} = I_{REF} \exp\left(-\frac{e(V_{GS1} - V_{GS2})}{\eta k_B T}\right)$$

出力電流 I_{OUT} はアレニウスの式を満たし、物質の劣化量を模擬できる。回路動作の SPICE シミュレーション結果を図 3 に示す。横軸は絶対温度を逆数 ($1/T$) のスケールで示し、縦軸は出力電流を対数スケールで示す。理論値は上記の解析式から算出した値である。このように、アレニウスの式を回路上で実現することができる。

4. まとめ

本研究では、弱反転 MOSFET を用いた温度履歴モニタ回路を提案した。この回路構成を用いることで、素子数と消費電力を削減できる。さらに、乗算回路を用いることにより大きな活性化エネルギーに対応することができることを確認した。

文 献

- [1] T. Hirose *et al.*, "Watch-dog circuit for quality guarantee with subthreshold MOSFET current," *IEICE Tran. Elec.*, vol. E87-C, no. 11, pp. 1910-1914 (2004)
[2] S.-C. Liu, J. Kramer, G. Indiveri, T. Delbruck, R. Douglas, "Analog VLSI: circuits and principles", MIT PRESS, 2002

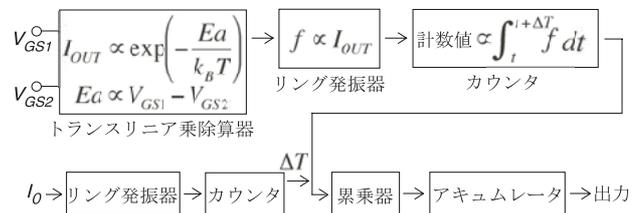


図 1. 回路構成

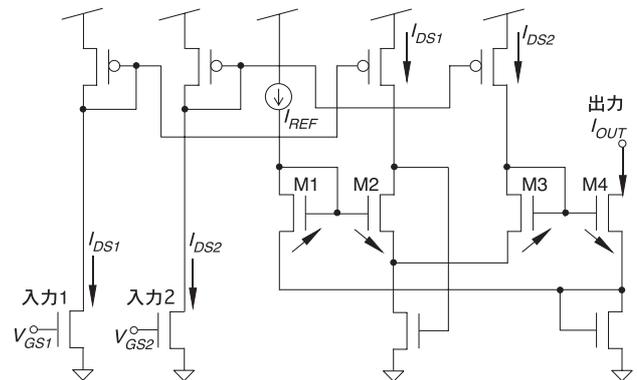


図 2. トランスリニア回路

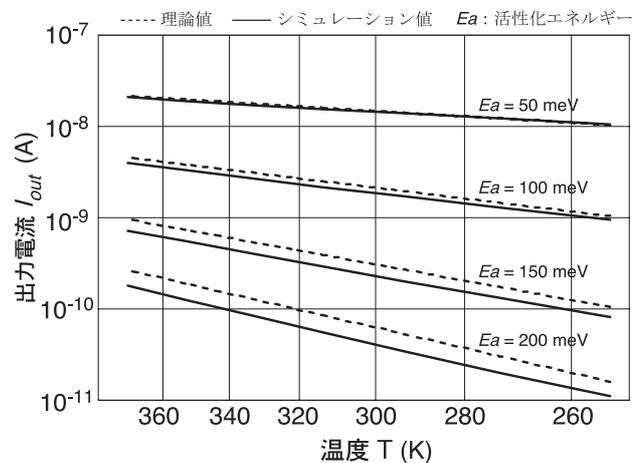


図 3. 回路動作のシミュレーション結果