

興奮系を用いた臨界温度センサ集積回路

北大院情報, 浅井 哲也, 廣瀬 哲也, Tovar Gessyca Maria, 雨宮 好仁

Analysis of critical-temperature sensor circuits consisting of excitable systems

Hokkaido Univ., Tetsuya Asai, Tetsuya Hirose, Tovar Gessyca Maria, Yoshihito Amemiya

反応拡散系の素反応モデルをもとにした集積回路向け興奮系モデルを提案する。このモデルは、定められた臨界温度を境に定常・振動動作が切り替わるもので、モノリシック基板上のCMOS温度検出スイッチの実装を目的としたものである。モデルのダイナミクスは

$$\dot{u} = -u + f[(u - v)/T], \quad \tau \dot{v} = -v + f[(u - \theta)/T],$$

で与えられる。ここで、 θ はしきい値、 $\tau \gg 1$, T は偽温度、 $f(x)$ はシグモイド関数 $[(1 + \exp(-x))^{-1}]$ である。コンデンサ、抵抗（温度係数の小さい金属皮膜抵抗等）、およびサブスレッショルド領域で動作するMOS FETを用いると、上記のダイナミクスをアナログ回路化できる。回路化モデルのダイナミクスは、

$$C_1 \dot{u} = -g u + I_b f[\kappa(u - v)/V_T],$$

$$C_2 \dot{v} = -g v + I_b f[\kappa(u - \theta)/V_T],$$

で与えられる。ここで、 C_i はキャパシタンス ($C_1 \ll C_2$)、 g は抵抗のコンダクタンス、 I_b は差動対のバイアス電流、 κ はMOSデバイス依存パラメータ、および V_T は熱電圧 ($K_B T/q$) である。 $I_b/g = 1$ として u, v それぞれのヌルクラインを求める。 $C_1 \ll C_2$ であるため、 u ヌルクラインの局所最大点と最小点 ($u_{0\pm}, v_{0\pm}$) を通る v ヌルクラインの位置 (θ) により安定性が変化する。設定した臨界温度 T に対応するしきい電圧 θ は

$$\theta = u_{0\pm} - \frac{2V_T}{\kappa} \tanh^{-1}(2v_0 - 1)$$

$$u_{0\pm} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4V_T/k}}{2}, \quad v_0 = u_{0\pm} + \frac{V_T}{\kappa} \ln\left(\frac{1}{u_{0\pm}} - 1\right)$$

となり、 u_{0+} では環境温度が T 以下（以上）で振動動作（定常状態）となる。上記の回路の数値計算結果は理論解析の結果と一致したが、現実的なデバイスを用いた回路シミュレーション（HSPICE; MOS BSIM3）では T - θ 特性が下方にシフトした。その理由は、MOSデバイスの非飽和動作および基板リーク電流を考慮しない差動対の動作モデルを用いたことにある。今後、より正確なデバイスモデルを考慮して T - θ 特性の理論式を補正する予定である。