

低電圧CMOSデジタル回路のプロセス・温度バラツキ補正アーキテクチャ構築

—集積回路の特性バラツキを補正する新アーキテクチャの開拓—

¹北海道大学大学院 情報科学研究科 情報エレクトロニクス専攻

²神戸大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻

次田祐輔¹, 上野憲一¹, 廣瀬哲也², 浅井哲也¹, 雨宮好仁¹

1, 研究の背景・目的

$$\text{動作バラツキ} : \frac{\delta\tau}{\tau} \sim \frac{\alpha}{V_{DD}-V_{th}} \delta V_{th}$$

プロセス・温度

ポータブルアプリケーション

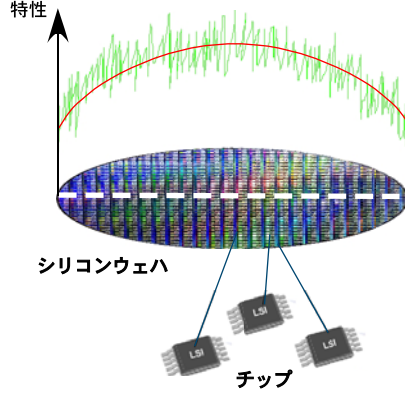
- 1, V_{DD} の低減
- 2, 高 V_{th} トランジスタ

V_{th} バラツキ

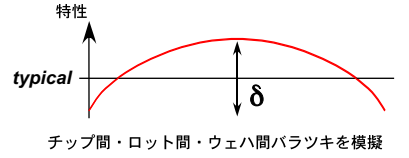
- ・歩留まりの低下
- ・設計マージンの増大
- ・回路特性の劣化

低電圧デジタル回路のバラツキ補正

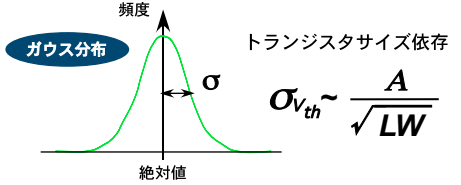
2, プロセスバラツキ定義



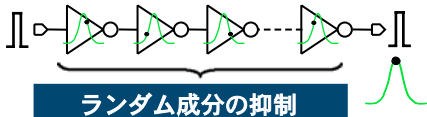
【グローバルバラツキ】— 絶対値が変化



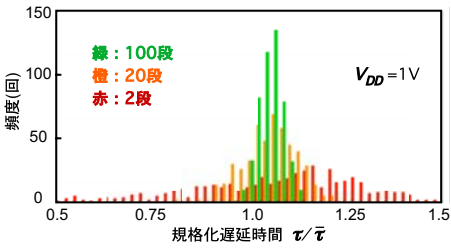
【ランダムバラツキ】— 相対精度が変化



3, ランダムバラツキ解析



ランダムバラツキのみを考慮したモンテカルロシミュレーション
(インバータチェーン遅延時間バラツキの段数依存性)



4, グローバルバラツキ解析

多段接続インバータ
遅延時間

$$\tau = \frac{C_{load} V_{DD}}{I_{on}}$$

$$I_{on} \sim \frac{W}{L} \mu C_{ox} (V_{DD} - V_{th})^\alpha$$

: 飽和電流

$$C_{load} \sim C_{ox} LW$$

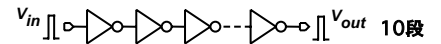
: 次段のゲート容量

$$\frac{\delta\tau}{\tau} \sim 2 \frac{\delta L}{L}, \frac{\delta\mu}{\mu}, \frac{\alpha}{V_{DD}-V_{th}} \delta V_{th}$$

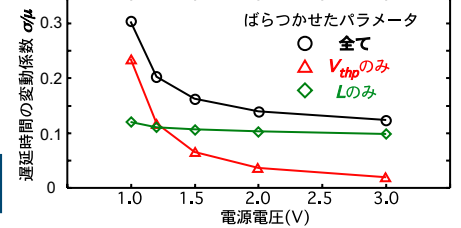
【0.35 μ m-2P-4M-CMOSプロセス】

parameter	typical	δ	$\delta/\text{typical}(\%)$
$V_{thn}(V)$	0.52	0.1	
$V_{thp}(V)$	0.71	0.1	
$L(\mu m)$	0.35	0.05	14.3
$W(\mu m)$	0.4	0.075	18.8
$\mu_n(\text{cm}^2/\text{Vs})$	370	16.5	4.5
$\mu_p(\text{cm}^2/\text{Vs})$	126	13.5	10.1
$T_{ox}(\text{nm})$	7.6	0.5	6.6

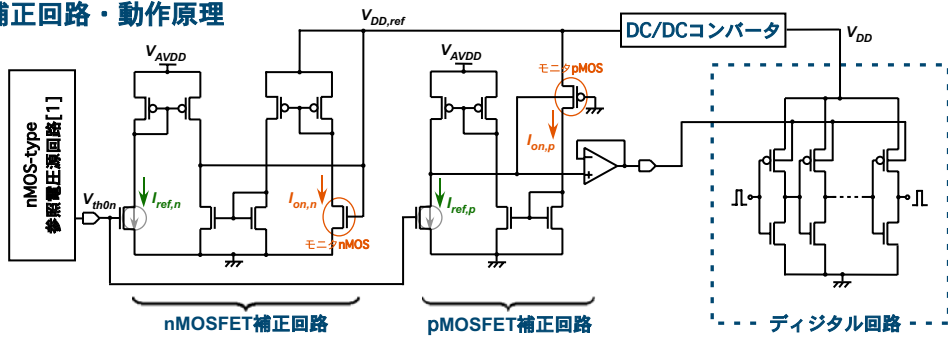
通常 $V_{DD} > 1.2V$ はL, 低電圧 $V_{DD} < 1.2V$ では V_{th} バラツキの影響が大



グローバルバラツキのみを考慮したモンテカルロシミュレーション
(10段インバータチェーン遅延時間バラツキの電源電圧依存性)



5, 補正回路・動作原理

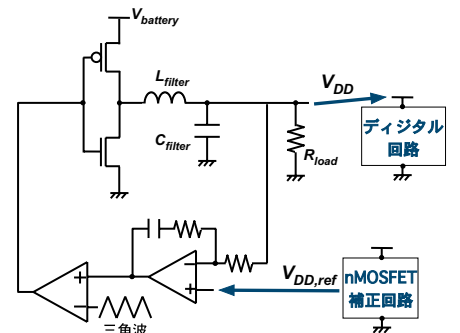


【参照電圧源回路】

絶対零度でのしきい値電圧: V_{th0n}
(プロセスバラツキモニタリング) → 定電流

定電流がオン電流と等しくなるように (nMOSFET: 電源電圧を制御, pMOSFET: 基板電位を制御)

【スイッチングDC/DCコンバータ】

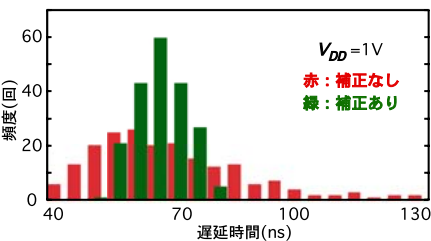


- ・PWM制御
- ・PI制御フィードバック

6, シミュレーション結果

グローバル・ランダム両方のバラツキを考慮したモンテカルロシミュレーション

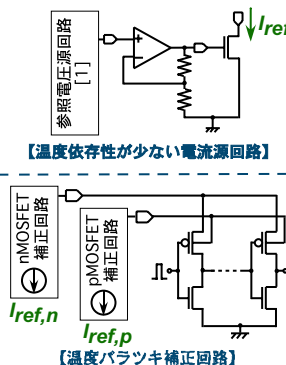
(100段インバータチェーン遅延時間バラツキ)



	補正なし	補正あり
平均値: μ (s)	66.1n	63.1n
標準偏差: σ (s)	19.0n	6.3n
変動係数: σ/μ	0.287	0.099

65%の改善

7, 温度バラツキ補正

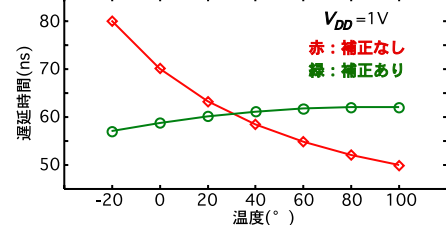


【温度依存性が少ない電流源回路】

【温度バラツキ補正回路】

typicalシミュレーション

(100段インバータチェーン遅延時間の温度依存性)



[1]Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "CMOS voltage reference based on the threshold voltage of a MOSFET Extended abstract of the 2007 International Conference on SSDM."