

# サブスレッショルド CMOS 論理システムのための電源回路

Power Supply Circuit for Subthreshold-operated CMOS Digital Systems

嶋田 英人 上野 憲一 浅井 哲也 雨宮 好仁  
Hideto Shimada Ken Ueno Tetsuya Asai Yoshihito Amemiya

北海道大学 情報科学研究科  
Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

## 1. サブスレッショルド LSI の動作条件

極低電力応用のサブスレッショルド CMOS LSI では、単位処理あたりの消費エネルギーを最小にするため「用途に必要なゲート速度が得られる範囲で最小の回路電圧」で動作させる必要がある。この条件を素子パラメータのバラツキ（とくに nMOSFET と pMOSFET の閾値差バラツキ）や周囲温度の変化にかかわらず成立させなければならない。そのためには LSI 上の電源回路に工夫が必要となる。以下でその構成例を提案する。

## 2. 電源回路の構成とフィードバック制御

図 1 に電源回路の全体図を示す。この回路は、シリーズレギュレータ MOSFET (M1) により外部電圧  $V_{EX}$  を  $V_{DD}$  に降圧し、その  $V_{DD}$  を同一チップ上の CMOS デジタル回路に供給する。同時にリングオシレータ RO でデジタル回路のゲート遅延を模擬し、その RO が所定の周波数で発振するように  $V_{DD}$  の値を調節する。

RO の周波数はスイッチトキャパシタの容量  $C$  と抵抗  $R_{EX}$  で設定する。スイッチトキャパシタは、レベル変換型 NOR ゲートを介して RO の発振出力(周波数  $f_{RO}$ )で駆動されており、その等価抵抗  $1/(f_{RO}C)$  と  $R_{EX}$  の差に応じて M1 のゲート電圧を上下させる。回路のフィードバック作用により、最終的に  $f_{RO} = 1/(R_{EX}C)$  となるように  $V_{DD}$  が調節される。すなわちゲート 1 段あたりの遅れ時間が  $R_{EX}C/(2n)$  ( $n$  は RO の段数)となるような出力電圧  $V_{DD}$  がデジタル回路に供給される。周囲温度の変化や nMOS/pMOSFET の閾値差があっても支障はなく、それに応じた  $V_{DD}$  が供給される。

## 3. 回路の動作と出力電圧 (シミュレーション)

この電源回路の動作を SPICE シミュレーションで解析した。パラメータは  $0.18 \mu\text{m}$ -CMOS デバイスの数値を使用し、RO は 9 段、 $C = 0.1 \text{ pF}$ 、 $V_{EX} = 1.5 \text{ V}$  に設定した。抵抗  $R_{EX} = 10 \text{ M}\Omega$  のときの出力電圧  $V_{DD}$  と RO 発振波形を図 2 に示す。図 2(a) は出力電圧  $V_{DD}$  が立ち上がる様子を示し、nMOSFET と pMOSFET の閾値差が 0 のとき ( $V_{THN} = V_{THP} = 0.5 \text{ V}$ ) と  $0.1 \text{ V}$  ( $V_{THN} = 0.5 \text{ V}$ ,  $V_{THP} = 0.6 \text{ V}$ ) のときの結果である。閾値差がないとき  $V_{DD} = 0.4 \text{ V}$  となり、閾値差が  $0.1 \text{ V}$  のときは  $f_{RO} = 1/(R_{EX}C)$  を満たすために  $V_{DD}$  が上昇して  $0.5 \text{ V}$  となった。図 2(b) は RO の出力波形、図 2 (c) は  $V_{DD}$  の値が安定した時の RO の波形である。発振周波数は設定どおり約  $1 \text{ MHz}$  となった。図 3 は抵抗  $R_{EX}$  を変えたときの  $V_{DD}$  と RO 周波数の変化を示す。抵抗  $R_{EX}$  によって RO 周波数(したがってゲート速度)を広範囲に調節可能、かつそれに応じた出力電圧  $V_{DD}$  を得ることができる。

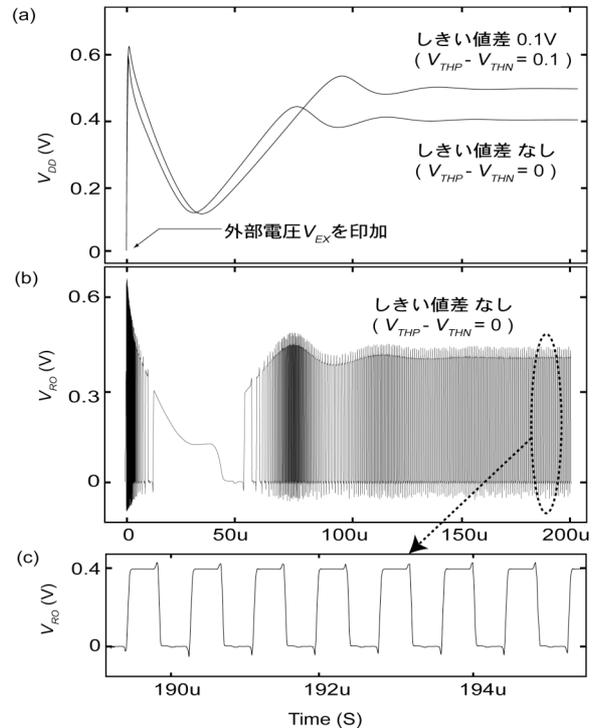


図 2 回路の動作特性: (a) 出力電圧  $V_{DD}$ , (b) リングオシレータの発振波形, (c) リング発振波形の時間拡大.

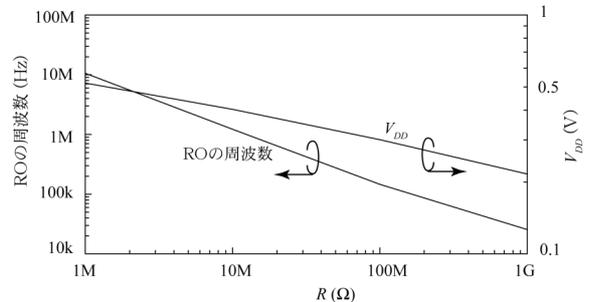


図 3 抵抗  $R_{EX}$  の値によるリングオシレータ発振周波数と出力電圧  $V_{DD}$  の変化.

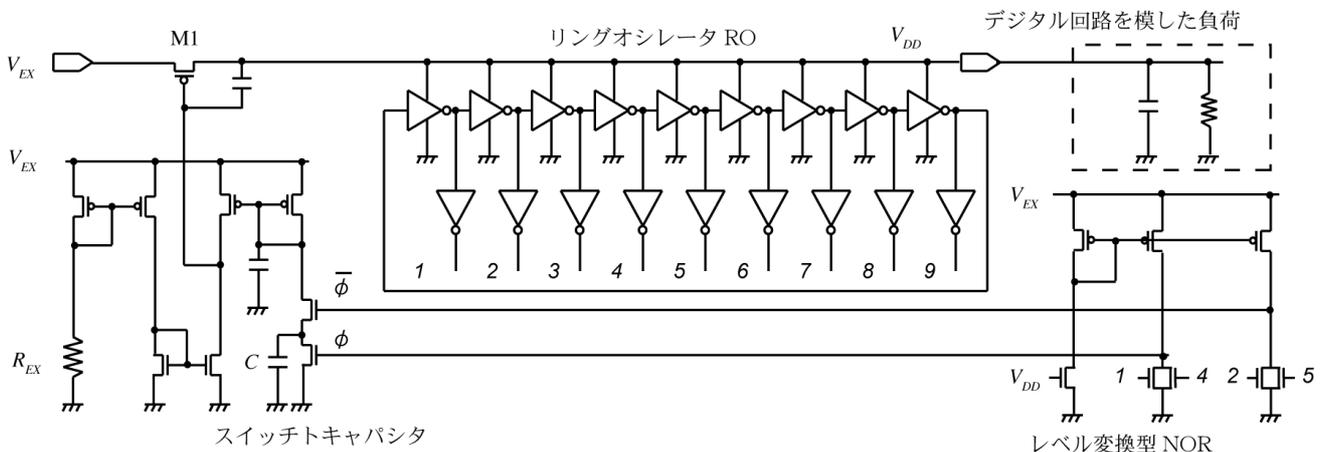


図 1 電源回路の構成. M1 以外の MOSFET はサブスレッショルド領域で動作.