

デプリーション形 CMOS ゲートの特性

Characteristics of depletion type CMOS gate

浅野 雄太郎 野瀬 浩一 桜井 貴康

Yutaro Asano Ko-ichi Nose Takayasu Sakurai

東京大学生産技術研究所

IIS, University of Tokyo

1. はじめに

スケーリング則による回路の高集積化に伴い、集積回路の消費電力は急激に増大し続けており、大きな問題となっている。そのため、従来はスケーリングされずに一定であった電源電圧が、近年では低消費電力化をめざすために、5V から 3.3V、1.8V と急速に下げられており、今後も低電源電圧化がトレンドになると考えられている。しかしながら、電源電圧を単独で低下させると、トランジスタの駆動能力が低下してしまうため、回路の遅延時間が悪化するという問題が生じる。遅延時間を増加させないようにするためには、電源電圧を下げるとともに、閾値電圧も同時に低下させなければならない。回路に高速性が求められるクリティカルパスなどでは、閾値電圧が 0V 以下の depletion 形の CMOS 回路が使用されるようになる可能性もある。そこで、本研究では depletion 形 CMOS 回路の解析を行った。

2. デプリーション形回路のノイズマージン

デプリーション形のインバータ回路では、エンハンスメント形に比べ電圧増幅率が低く、閾値をさらに低下させるとついに増幅率 $|A| < 1$ となり、出力信号の振幅が入力信号の振幅よりも小さくなってしまふ。従って、デプリーション形 CMOS には最低動作閾値電圧が存在する[1]。しかし、最低動作閾値電圧では、スタティックノイズマージン(SNM)が 0 であるため、実際にはある程度の余裕を考えなければならない。

MOS トランジスタのドレイン電流 I_{DS} は、 α 乗則[2]を用いて次のように表される。

$$V_{DSAT} = K_V(V_{GS} - V_T)^{\alpha/2}$$

$$I_{DSAT} = K_I(V_{GS} - V_T)^\alpha \quad (V_{DS} \geq V_{DSAT})$$

$$I_{DSAT} = I_{DSAT} \left(2 - \frac{V_{DS}}{V_{DSAT}}\right) \frac{V_{DS}}{V_{DSAT}} \quad (V_{DS} < V_{DSAT})$$

ここで、 α は 1~2 の値をとる。Shockley モデルでは $\alpha=2$ である。一般の α について解析的に SNM を求めるのは困難であるが、 $\alpha=2$ の時は、

$$SNM = \frac{(1+2v)}{4} \quad (K_V = 1.0) \quad (v = \frac{V_T}{V_{DD}})$$

$$SNM = \frac{(5+6v)}{16} \quad (K_V = 0.6)$$

となる。従って、SNM は V_{GS} 、 V_{DS} によらず、 v および K_V のみに依存することがわかる。(閾値電圧／

電源電圧)が SNM の大きさとトレードオフの関係になっていることがわかる。

3. デプリーション形回路の遅延時間

回路モデルにより遅延時間を求める場合、エンハンスメント形ではプルアップパスまたはプルダウンパスの片方のみがオンであると多くの場合近似しているが、デプリーション形の場合は常に両方のパスに電流が流れている。そのため、NMOS によるインバータの放電を考える場合、PMOS から流れ込む電流との差分が実質的な放電電流になることを考慮する必要がある。

4. まとめ

デプリーション形 CMOS による、低電源電圧回路の遅延時間およびノイズマージンの考察を行った。

参考文献

- [1] グェン・ドゥック・ミン、野瀬浩一、桜井貴康、“低電源電圧 depletion 型 CMOS の最低動作閾値電圧”、1999 年電子情報通信学会春季総合大会、A-3-12
- [2] Takayasu Sakurai, R. Richard Newn, “A simple MOSFET for Circuit Analysis”, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 38, N o. 4. 1991

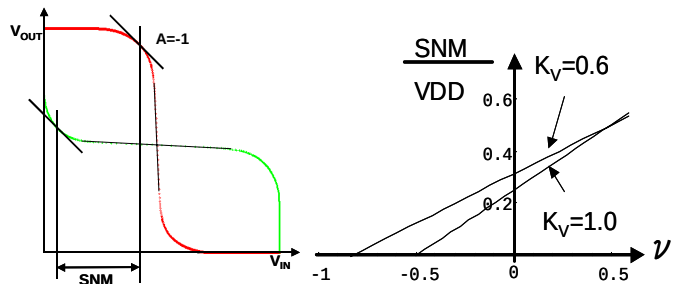


図 1 SNM の定義

図 2 インバータにおけるノイズマージン

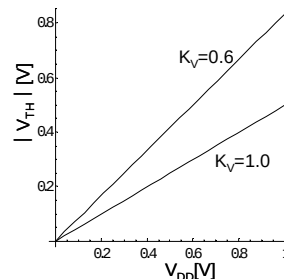


図 3 ノイズマージン一定条件での $V_{DD}-V_T$ 特性

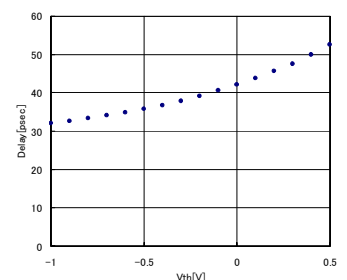


図 4 遅延時間の閾値依存性