

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	状態依存性を考慮した論理回路の電源間容量モデルの検討
Title(English)	A Study on Power-supply Capacitance Model Considering State Dependency
著者(和文)	萩原 汐, 高橋 亮, 山長 功, 佐藤 高史, 益 一哉
Authors(English)	Shiho Hagiwara Ryo Takahashi Koh Yamanaga Takashi Sato Kazuya Masu, Ryo Takahashi, Koh Yamanaga, Takashi Sato, Kazuya Masu
出典(和文)	2009 年 電子情報通信学会総合大会, , , C-12-30
Citation(English)	, , , C-12-30
発行日 / Pub. date	2009, 3
URL	http://www.ieice.org/jpn/books/t_g.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright (c) 2009 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

状態依存性を考慮した論理回路の電源間容量モデルの検討

A Study on Power-supply Capacitance Model Considering State Dependency

萩原 汐[†] 高橋 亮[†] 山長 功^{†*} 佐藤 高史[†] 益 一哉[†]
 Shiho Hagiwara Ryo Takahashi Koh Yamanaga Takashi Sato Kazuya Masu

[†] 東京工業大学 統合研究院 Integrated Research Institute, Tokyo Institute of Technology

* 村田製作所 Murata Manufacturing Co., Ltd.

1 まえがき

不要電磁放射や電源電圧変動を考慮した設計のため、LSI 電源の精度良いモデルが必要とされている。線型素子と電流源による等価回路が提案されているが [1]、論理回路の電源間容量は内部状態に依存する [2]。より正確なモデルの確立には状態依存性の考慮が必要であると考えられるが、その変動量は明確になっていない。本稿では、論理回路の電源間容量変動についてシミュレーションを元に考察し、状態依存性を考慮した電源間容量とその変動を簡易に求めるためのモデルを検討する。

2 回路の論理相関の電源間容量分布への影響

論理ゲートの電源間容量はその論理状態に依存し、論理回路の電源間容量はその総和で表される [3]。このため、容量は内部状態に応じて変動する。一方で、論理ゲートの論理状態 (0, 1) は前段の出力で決まることから、各論理ゲートの論理状態は論理的な相関をもつ。しかし、論理ゲート前後の容量変動の相関が電源間容量の増減に与える影響は自明でないため、回路全体の電源間容量の変動は論理相関の影響を受け難いと考えられる。

以上の考察を確認するため、論理相関の強弱と電源間容量の標準偏差の関係をシミュレーションにより調べた。ベンチマーク回路¹について、[3] の手法を用いて電源間容量を計算し、ランダムな 50,000 の入力パターンにおける論理回路の電源間容量から標準偏差を計算した。この際、論理相関を擬似的に変更するよう、各パターンにおける容量を計算した後、無作為に選択した $(1-p)n_{gate}$ 個の論理ゲートの容量をテーブルからランダムに選択し直して電源間容量を計算し直した。ここで、 n_{gate} はその回路を構成する論理ゲート数である。パラメータ p ($0 \leq p \leq 1$) は論理相関の強さを表し、 $p=0$ では回路の論理的依存性が完全に失われ、全ての論理ゲートの容量が独立に変動する場合での標準偏差、 $p=1$ では元の回路の標準偏差を求めることになる。

容量の計算を行った回路の内 4 回路の結果を図 1 に示す。図示している c499, c1908 を含め、対象回路のほとんどは標準偏差が p の値に依らないという結果になったが、c880, c5315 は論理相関が強い程標準偏差が大きくなる傾向を示した。この 2 回路は平均ファンイン数が対象回路中で上位 2 回路である。これらの回路は前段の影響を受けやすいと考えられ、強い論理相関は電源間容量の変動量に影響を及ぼすことが原因のひとつとして考えられる。

3 論理回路の電源間容量モデル

各論理ゲート間の電源間容量変動の相関を無視すると、回路全体の電源間容量の分布は正規分布に近付き、平均値 μ_c 及び分散 σ_c^2 は、 $\mu_c = \sum_i^{n_{gate}} \bar{C}_i$ 、 $\sigma_c^2 = \sum_i^{n_{gate}} \sigma_{C_i}^2$ と計算される。本章では、この μ_c, σ_c をモデルとして利

用することを検討する。ただし、 \bar{C}_i は論理ゲート i の平均容量、 $\sigma_{C_i}^2$ はその分散を表す。

上式から得られる $\mu_c, \sigma_c/\mu_c$ の精度を評価するため、前章と同様の回路について 50,000 のランダムな入力パターンから得られた平均容量及び平均値で規格化した標準偏差と比較を行った結果を図 2, 3 に示す。平均値 μ_c の最大誤差は 1.8% であり式とよく一致する結果となった。一方、標準偏差 σ_c/μ_c の最大誤差は 45% となったが、標準偏差は平均値に対して 2.0% 未満と小さい値であることから、この誤差の影響は小さいと考えられる。前章で述べた相関の強弱を反映することで、標準偏差の見積り精度を改善できる。

4 まとめ

本稿では状態依存性を考慮した論理回路の電源間容量分布の論理相関との関係について解析ベースで検討を行った。解析結果から、論理相関の電源間容量変動への影響は必ずしも無視できないことがわかった。また、電源間容量の平均値及び標準偏差の式と解析結果を比較した。平均値は誤差は 1.8% 以下と良い精度であった。標準偏差に関しては誤差 40% あるものの、平均値に対して値が小さく、また回路が大規模になれば小さくなる。以上から、論理回路の電源容量は構成する論理ゲートの平均容量の総和で代表することができる。

謝辞

本研究の一部は NEDO および東京大学 VDEC の協力で実施した。

参考文献

- [1] 福本 他「LSI 電源端子電流モデルの簡易決定手法」、信学技報 EMCJ 2000-35, pp. 49-54, 2000.
- [2] 林 他「瞬時 IR ドロップの解析手法」、第 16 回軽井沢ワークショップ, pp. 49-54, 2003.
- [3] 山長 他「状態依存性解析のための電源間容量のテーブルルックアップ計算」、信学総大, 2009.

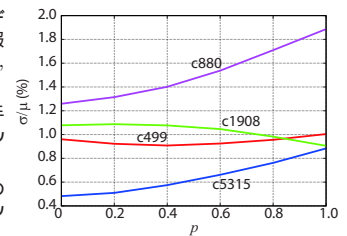


図 1 パラメータ p と電源間容量の標準偏差

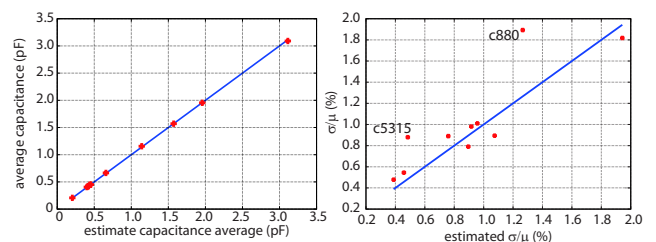


図 2 平均容量 μ_c の理論値とシミュレーション結果

図 3 標準偏差 σ_c/μ_c の理論値とシミュレーション結果

¹ISCAS 85: c1355, c1908, c2670, c3540, c499, c5315, c6288, c7552, c880