

S-NAP PCB Suiteを用いたパソコンと電源電圧変動の解析 (パワーインテグリティ解析例)

T. Ogawa/ MEL Inc.
2010/9/26

あらまし

S-NAP PCB Suite を使い、パワーインテグリティのテスト基板を用いて、電源電圧変動のシミュレーションと実測を行った。複数個実装されているパソコンにおいて、どのパソコンが有効に働いているかを解析した。さらに、パソコンの有無による電源インピーダンスの変化を解析し、インピーダンスの共振についての検討も行った。

テスト基板の概要

パワーインテグリティのテストサンプルとして、アイカ工業(株)池田、中西両氏がエレクトロニクス実装学会に発表された文系[1]で用いられているデータを使用させていただいた。図 1(a)(b)に実物写真および回路図を示す。この回路は、バッファ IC (74LV244APW) に負荷として 3pF のキャパシタが接続されており、外部からクロック信号が IC に入力できるようになっている。8 個のバッファアンプが同時にスイッチング動作を行った場合の電源電圧の変動を観測可能である。4 層基板で構成され、両面に素子が実装されている。図(c)は S-NAP PCB Suite でのテストベンチのスナップショットである。ワニグチクリップの絵は、それぞれ外部クロック入力と直流電源入力を表している。

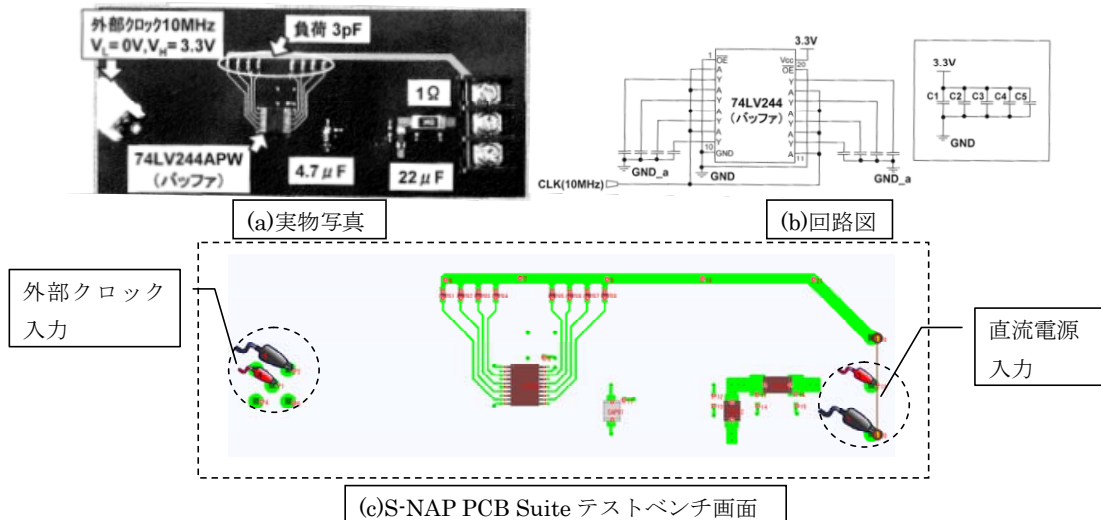


図 1 テスト基板の実物写真(a)、回路図(b)、テストベンチの画面(c)

外部クロックに対する変動特性

この回路は図 2 に示すように、パソコンが半田面に 3 個 ($0.1\mu\text{F}$)、半田面に 1 個 ($4.7\mu\text{F}$) が配置されている。外部クロックとして 10MHz を入力した場合、これらのパソコンがどれだけの効果を示しているかを解析を行った。シミュレーション結果を図 3 に示す。図 3(a)(b)は、それぞれパソコンがない場合のシミュレーションおよび実測である。グラフ上側が電源端子の波形で、下側がバッファの出力波形である。シミュレーションと実測はよく一致していると言える。図 3(c)(d)は、それぞれパソコンが装着された場合の

シミュレーションおよび実測である。電源ラインの変動はシミュレーションの方が若干小さくなっているが、電源変動の減少に伴い出力波形のリングングも小さくなっているなど、傾向は実測値とよい一致を示している。当然ではあるが、パソコンを装荷した場合の方が電源電圧変動は小さくなり、同時にバッファ IC の出力信号の歪も小さくなっていることがわかる。

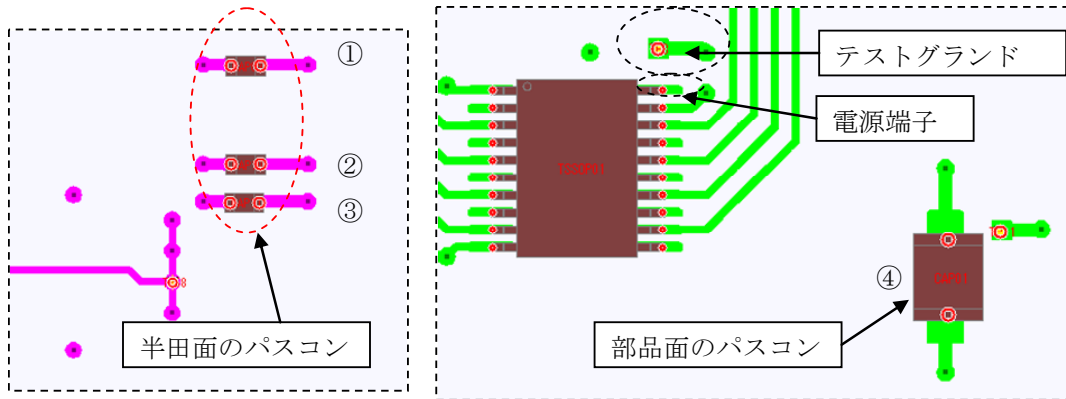


図2 パスコンおよびテストグラウンド、電源端子の位置

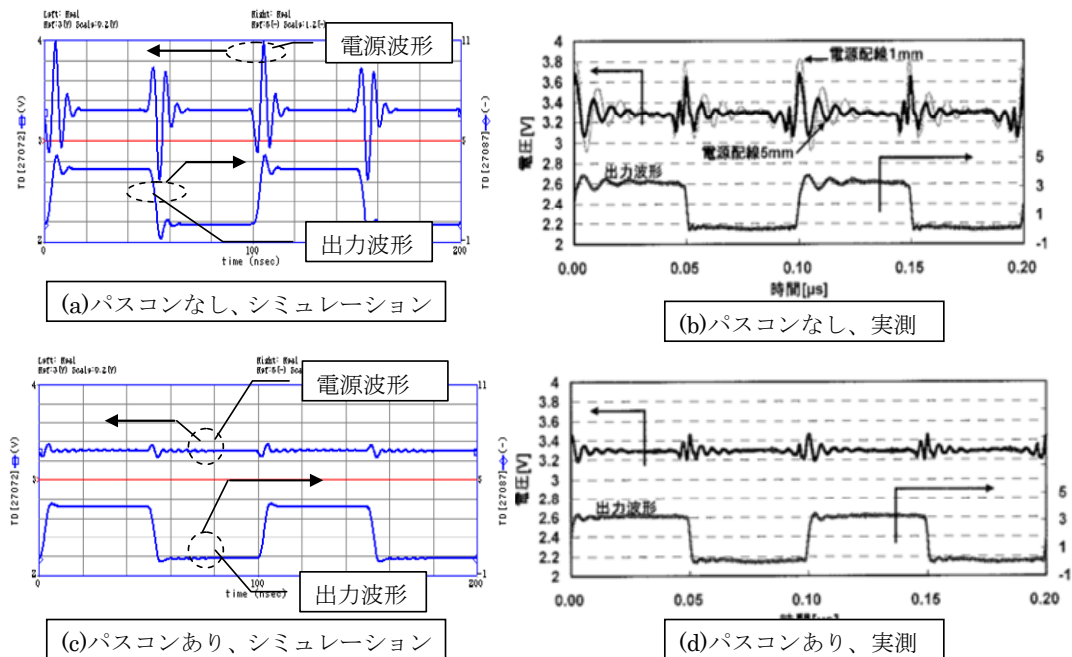


図3 パスコンを装着／未装着時のシミュレーションと実測値

バッファ IC の等価回路

プリント板のパターン部分の特性は、1次解析ソルバ (QEM ソルバ) によって3次元電磁界解析処理が行われ、巨大なブラックボックスとしてマトリックスの形式でテストベンチに供給されている。このマトリックスを Q-DATA と呼んでいる。バッファ IC の内部は等価回路で与えることができ、上記のシミュレーションにおいて用いた等価回路を図4に示す。IC 全体の等価回路は図(a)のように表している。各端子はポートに対応しており、端子から IBIS のパッケージモデルに接続される。バッファやインバータなどの単純な機能の IC では簡単な等価回路で内部を接続することも可能であるので、今回は、図(b)のよ

うに 2 番ピンからの信号はバッファを介して 3 番ピンに出力するように設定している。このバッファの等価回路は、図(c)のように設定されており、出力電流の値をセンシングして同じ容量の電流を VCC から引き込むように設定している。また、VCC の変動が信号出力の変動として加わるように回路を構築している。このような等価回路とすることで、IC の負荷に対して出力電流の大きさが変わり、IC の電源端子に流れ込む電流量が変化する。この回路が 8 個のバッファすべてに構築されているので、それぞれの負荷に従って各端子の電流が変化し、それらの合計量が電源端子から流れ込むことになる。この等価回路が電磁界解析により相互結合されたパターン情報のマトリクスに接続されることで、IC の負荷による電源パターンの電圧変動を解析することができる。

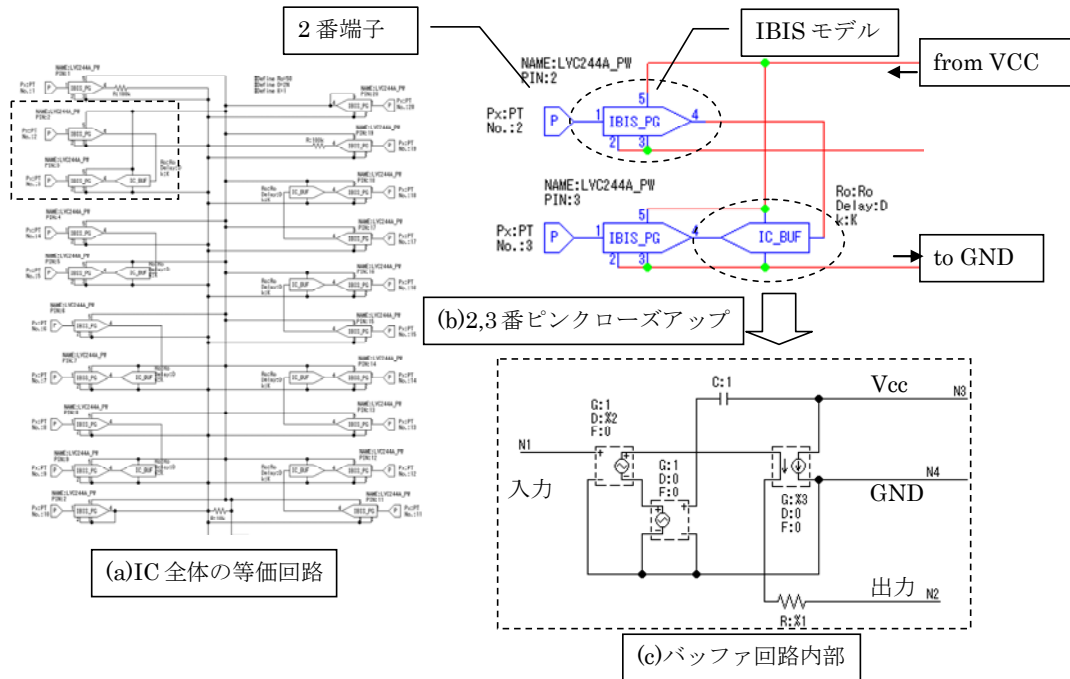


図 4 バッファ IC の等価回路

必要なパスキンの検討

上記の解析結果から、図 3 からわかるようにパスキンを装着することで電源電圧の変動が大きく抑制されることがわかったが、この結果は半田面、部品面で合計 4 個のパスキンを装着した場合である。これらの内でどのコンデンサが有効に作用しているかを知ることが重要であり、コストダウンや歩留まり向上にも直結することになる。図 5 にパスキンの実装条件を変えた場合の電源電圧変動波形とスペクトルを示し、表 1 にピークノイズのレベルを一覧表にしたものを示す。パスキンを実装しない場合は、150MHz 前後のスペクトルが最も大きく、-20dBV 程度ある。図 2 に示したパスキンの番号に従って、順次 1 つのみを有効にした場合、③を有効にした場合が最も効果的であり、すべて実装した場合の特性と 270MHz の成分を除いてはそれほど差がないことがわかる。④だけではほとんど効果がないことも確認できる。ノイズが抑圧されている順番で並べれば、③→②→①→④であり、IC からの距離の順番と一致するようにみえる。270MHz の成分は、抑圧度合いに規則性が見られずさらに他の要因があると考えられる。この解析では信号成分は 10MHz のクロックしか入力していないので、電源電圧変動のノイズ成分はすべてこのクロックの高次高調波であると言える。150MHz は 15 次高調波で、270MHz は 27 次高調波である。非常に高次の成分が電源電圧変動の要因になっていることがわかる。

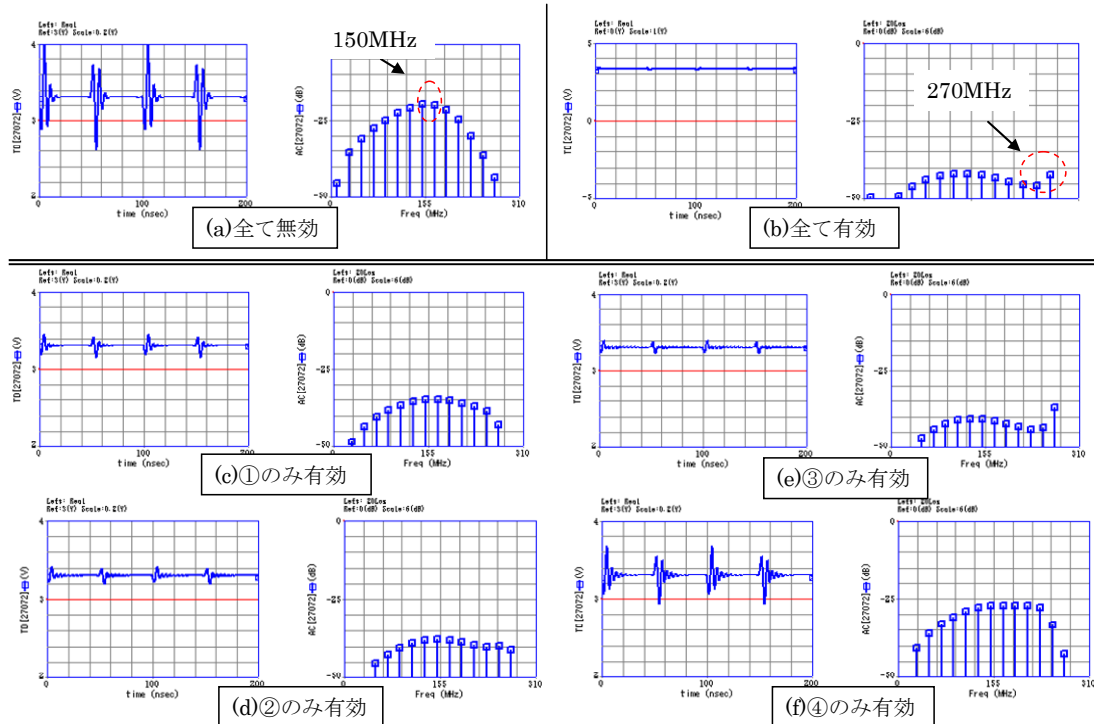


図 5 パソコンをそれぞれ有効にした場合の電源波形とスペクトル

パソコン条件	ピーク電圧(dBV) 150MHz	ピーク電圧(dBV) 270MHz
(a) すべてなし	-20	-44
(b) 4個すべて実装	-41	-42
(c) ①のみ実装	-35	-42
(d) ②のみ実装	-37	-41
(e) ③のみ実装	-40	-37
(f) ④のみ実装	-26	-42

表 1 各パソコンに対する抑圧レベルの一覧

共振モードとの関連の検討

電源電圧変動のノイズスペクトルを考察するために、インピーダンスに関する解析を行った。図 6 に IC の電源端子からみたインピーダンス特性を示す。図(a)はパソコンがどれも実装されていない場合であり、図(b)はすべて実装した場合である。図(a)からわかるように、パソコンが実装されていない状態では、190MHz と 420MHz に共振が観測できる。190MHz 近傍でインピーダンスの共振が、電源電圧変動のノイズスペクトルが 150MHz 程度で大きくなっている一つの要因とも考えられる。パソコンを実装すると、図(b)からわかるように 2つの共振点のインピーダンスは大きく減少することがわかる。図(b)の破線は 1/10 スケールである。190MHz の共振は 270MHz 近傍に移動していることもわかる。このことから、図 5(b)で現れているように、パソコン装着後は 270MHz のノイズ成分が大きくなることも納得できる。また、図 6(c)は IC を実装しない場合のインピーダンス特性である。2つのグラフはスケールを変えた表示である。この特性からわかるように、IC を除けば 190MHz、270MHz の共振は消えることがわかる。したがって、これらのインピーダンス共振は IC の内部インピーダンス、もしくは実装することによるインピーダンスの変化が関与しているものであると考えられる。最後に、図 7 にインピーダンス特性

の実測値とシミュレーション値の比較を示す。この実測値は、文献[1]に紹介されているものであるが、キャパシタなどの一部が取り除かれた状態であるので、同条件とした。また、IC 単体の電源-グランド間インピーダンスは公表されていないが、スタティックの状態ではあるが、測定されたデータがあるのでそれを用いさせていただいた。このデータは 1 ポートの S パラメータファイルであるので、図 7 に示すように等価回路中にそれを設定しシミュレーションを行った。シミュレーション結果は、実測値 (A) によく合っていることがわかる。

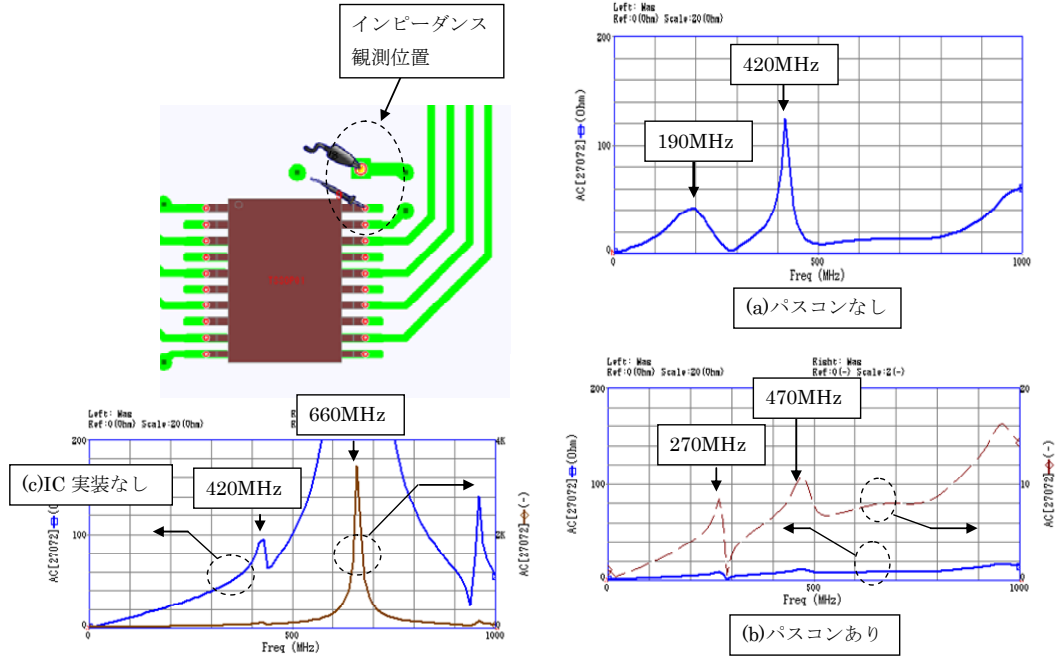


図 6 IC の電源端子からみたインピーダンス特性

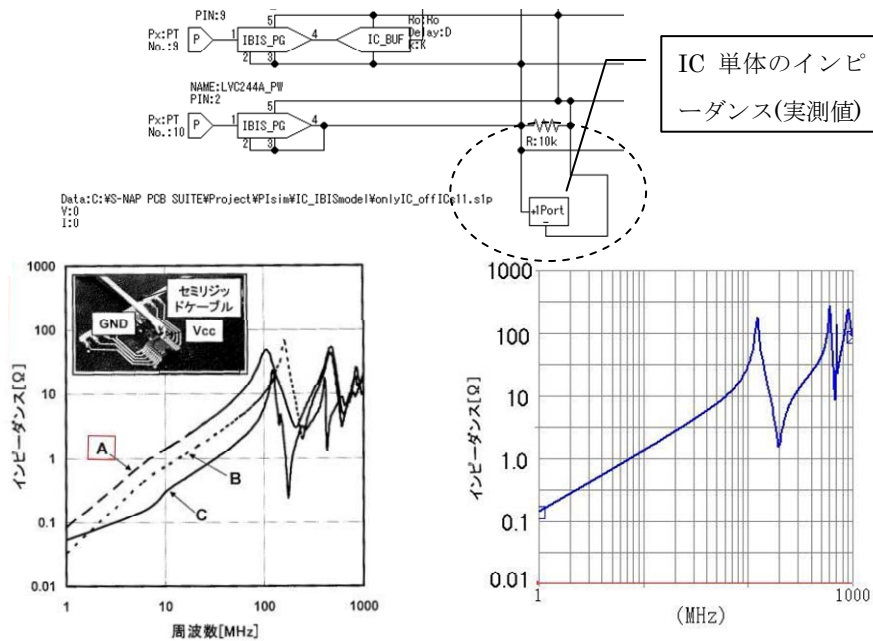


図 7 インピーダンス特性の実測値とシミュレーション

電圧分布の表示

図8にクロックの5次の高調波成分である50MHz時の電圧分布を示す。左側がIC側からみた図で、右側がパソコン側（裏側）からみた図である。①~④はパソコンの番号であり、図2に対応している。50MHzがクロック信号の入力ラインやバッファの出力ライン上に分布していることがわかる。また、VCCラインにもわずかながら分布している様子がわかる。

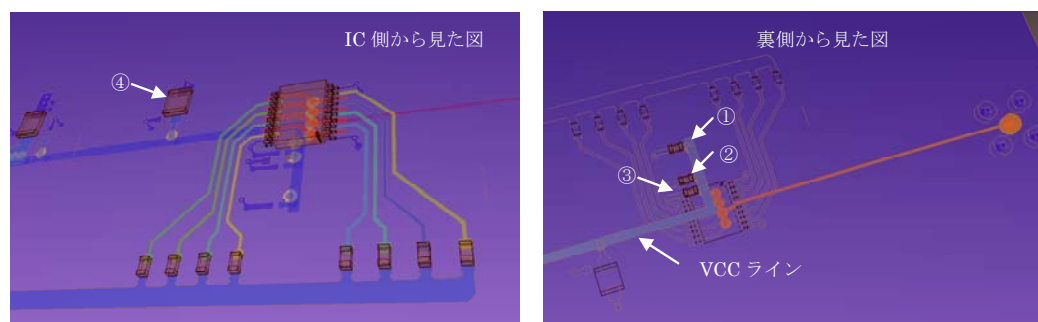


図8 5次高調波成分（50MHz）の電圧分布

まとめ

パワーインテグリティのテスト基板を用いて、電源電圧変動のシミュレーションと実測を行い、両者はよく合致することを確認した。複数個実装されているパソコンにおいて、どのパソコンが有効に働いているかを解析した。その結果、比較的ICに近いパソコンが有効に働いていることがわかった。さらに、パソコンの有無により電源インピーダンスが下がり、インピーダンスの共振も移動することをシミュレーションにより確認した。

謝辞

本解析を行うにあたって、プリント板データや測定データの使用を快諾し、ご提供いただきました。アイカ工業株式会社電子カンパニー田中顕裕氏、中西秀行氏、池田聡氏、および基板開発グループの諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

[1]池田聡、中西秀行、"プリント配線板の電源配線設計とパワーインテグリティ"、エレクトロニクス実装学会 Vol.12 No.3 2009、pp180-185