

SPICE(PCBsim™)による基板の温度上昇解析

シグナル工房： www.signalkhobho.com

野田 敦人

PCBsim™は Legend 社の MSIM-PCB™ のメインのシミュレーションエンジンとする HSPICE™互換の高速のシグナルインテグリティ解析ツールです。実はあまり知られていませんが、電気回路のシミュレータである SPICE ツールにより伝熱シミュレーションを行うことができます。伝熱シミュレーションとは基板上に複数の発熱部品が搭載された場合に、その発熱量から放熱特性から基板上の温度上昇分布を解析するようなものです。本紙では SPICE による基板の温度上昇解析のやり方の基本と、PCBsim に付属する基板温度上昇解析ツールによる実際の解析例を示します。

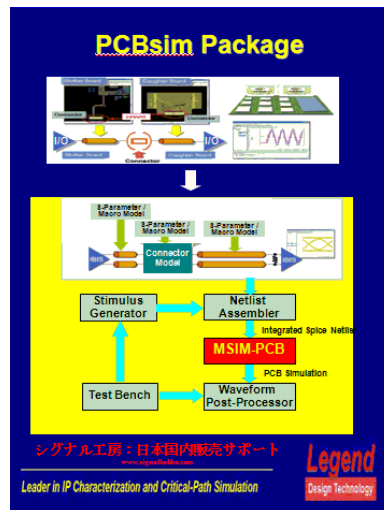


図1 PCBsim

1) 伝熱解析と電気回路解析

伝熱解析と電気回路解析は下のような関係になります。温度を電圧、発熱量を電流などに変換することにより、熱回路網を電気回路網として解析することができます。

伝熱解析		電気回路
温度 (°C)	=	電圧 (V)
発熱量 (W)	=	電流 (A)
熱伝導率/熱伝達率(W/m^2°C)	=	抵抗 (Ω)
比熱(g cal g^-1 K^-1)	=	容量 (farad)

基板の温度上昇を解析する場合は、図2のように四角の基板をたとえば X=10 個、Y=10 個のようなセルに分割して、1つのセルを抵抗 R と容量 C の等価回路にします。

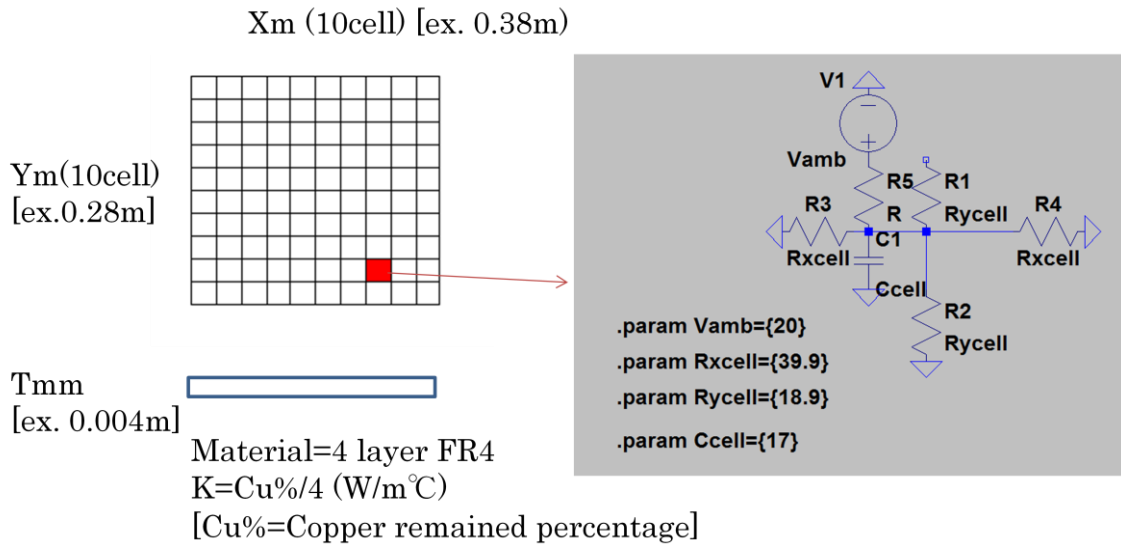


図2 基板のセル等価回路

ここで x 方向の抵抗 R1,R2、y 方向の R3,R4 は式 1-1) 式 1-2)でもとめられます。

$$R_{xcell} = X_{cell} / (Y_{cell} * T * K) \quad R1 = R2 = R_{xcell} / 2 \quad 1-1)$$

$$R_{ycell} = Y_{cell} / (X_{cell} * T * K) \quad R3 = R4 = R_{ycell} / 2 \quad 1-2)$$

- K は熱伝導率 Cu%は 4 層基板とした時の銅の含有率 (体積率)

また C は 4 つの抵抗が交差する中心とグランド間に接続され、その値は式 1-3)によって計算できます。

$$C_{cell} = X_{cell} * Y_{cell} * T * \rho * C_p \quad 1-3)$$

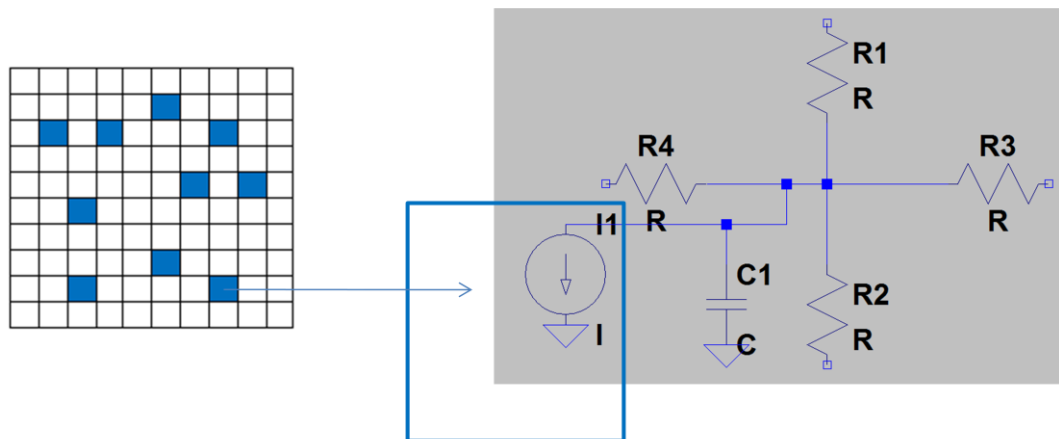
- ρ は比重(通常 g/cm^3 で与えられるので単位系に注意)
- C_p は比熱 [$g * cal * g^{-1} * K^{-1}$]

さらに R_{tc} は熱伝達による抵抗で、式 1-4)で計算され、周囲温度 20 度 = 20V の電圧源に接続されます。

$$R_{tc} = 1 / (X_{cell} * Y_{cell} * H_{top} + X_{cell} * Y_{cell} * H_{bottom}) \quad 1-4)$$

- H_{top} は基板上面の熱伝達率
- H_{bottom} は基板下面の熱伝達率

また発熱部品は搭載される位置のセルの中心とグラウンド間にマイナスの電流源として接続されます。部品の大きさはセル1つより小さいか同等の大きさであれば、1つのセルに発熱量が1Wなら-1Aの電流源となり、セルの4つ分の大きさなら4つのセルに分けてそれぞれ-0.25Aの電流源とします。



$$\text{Power Consumption [Watts]} = -\text{Current [Amp]} \{ \text{Negative Value} \}$$

図3 発熱部品の等価回路

2) PCBsim の基板温度上昇解析ツール

PCBsim では基板の大きさなどのパラメータや必要な発熱部品の位置と発熱量を入力すれば自動的に MSIM-PCB のネットリストを作成する基板温度上昇解析ツールが付属してきます。自動的に 10 * 10 の 100セルの回路網が作成されます。



図4. PCBsim 基板温度上昇解析ツール

デフォルトでは 330mm*280mm の基板サイズです。基板は 4 層の FR4 基板として仮定されており、銅の含有率（体積率=厚み比）Cu%を指定します。図 5 がこのデフォルトの値で 15 分間の電圧上昇を解析した結果です。セル 7 5、7 6 に置かれた合計 4 W の発熱部品の部分で 5 0 °C 程度温度上昇していることが判ります。

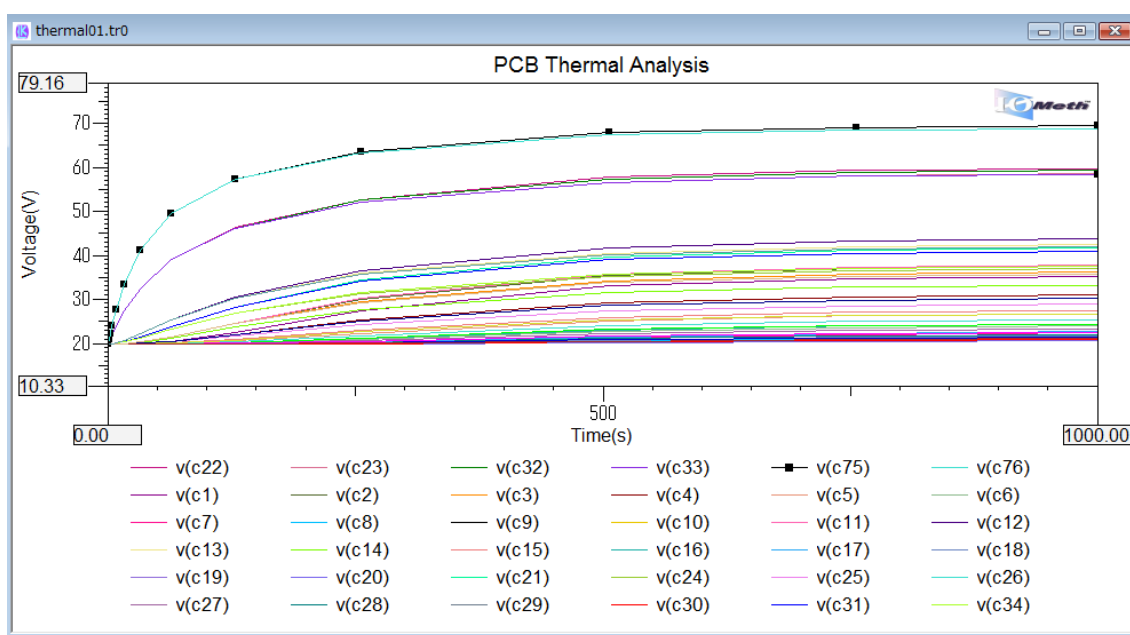


図 5

「解析ツールのダウンロード」

シグナル工房の Web (www.signalkhobho.com) で登録していただくところの基板温度上昇解析ツールをダウンロードできます。ネットリストは HSPICE™ 互換の MSIM-PCB 用ですが、W エLEMENT の用な特殊なモデルは使用していないので、.option や .tran などのステートメントを少し変更するだけで、フリーの LTSPICE や 5SPICE など解析できるようになると思います。ただしノード数は 500 以上あるため、ノード数の制限のある SPICE では解析ができません。尚このツールを実行するためには .NET Framework 4 がインストールされている必要があります。

注：本ツールはあくまでもネットリストのサンプルとして参考にしていただくもので、解析結果の精度についてはシグナル工房では責任を負いかねます。