

ヒートシンクの大きさの決めかた

渡部達己

ここでは、LSIの消費電力と熱特性から、必要になるヒートシンクの大きさや形状を決める方法について説明する。ヒートシンクの中には市販されている製品もあるが、適用しようとする箇所に合った形状のものが見つかるとは限らない。物理的な制約に合わせてカスタマイズする技術も求められる。（編集部）

FPGAの高速化や大規模化に伴って、放熱について相談を受ける機会が増えています。放熱では、消費電力や使用温度範囲、放熱に使用可能な空間や形状などを考慮しなければなりません。そこで、基本的で実務的な放熱対策として、必要なヒートシンクの大きさや形状を求める一連のプロセスを紹介します。

FPGAの場合、熱対策が課題となるのは、消費電力が10W前後の場合が多いようです。

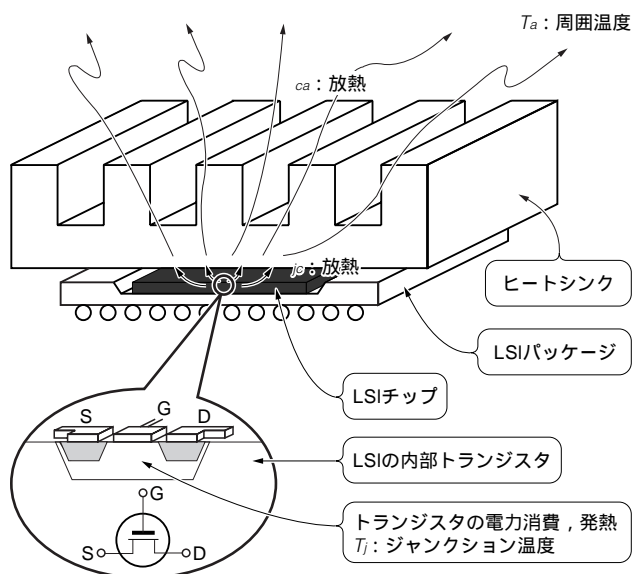


図1 LSIの発熱と放熱

トランジスタ素子の電力消費による発熱は、チップ表面からパッケージ表面へ、さらにヒートシンクや放熱板を経て周辺の空気に伝わり拡散する

● 放熱の概要

放熱設計では、熱平衡回路の理解がたいせつです。

LSIでは、チップを構成するトランジスタ電力の積和によって電力が消費されます。このトランジスタ素子の電力消費による発熱は、図1のように、チップ表面からパッケージ表面へ、さらにヒートシンクや放熱板を経て周辺の空気に伝わり拡散します。この熱平衡を電気回路的に表現すると図2になります。

ここで重要になるパラメータについて説明します。

1) T_j : ジャンクション温度 []

LSI(トランジスタ)への通電およびスイッチング動作により電力が消費され、発熱したときのトランジスタ素子内部の温度です。この温度の最大値は、通常150で規定されます。加速度寿命試験などの例外を除いては、この最大値を超えないようにしてLSIを使用しなければなりません。

2) P_d : LSIの消費電力 [W]

多くのLSIでは、一般的な使用条件とともにデータシートに示されます。しかし、例えばFPGAでは、実装する回路や動作周波数によって大きく異なるため、動作に合わせた条件で正しく見積もり、実測値についても確認する必要があります。消費電力は、熱平衡回路で電気回路の電流的パラメータとして扱われます。

3) j_c : 熱抵抗値 [/W]

トランジスタ素子内部からパッケージ表面までの熱抵抗値

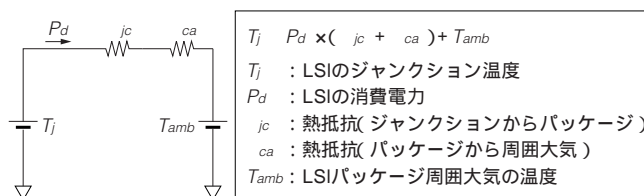


図2 熱平衡回路

熱平衡を電気回路的に表現した

Keyword

ヒートシンク, FPGA, 放熱, 熱平衡回路, ジャンクション温度, 熱抵抗, フリップチップ, 自然空冷, 強制空冷, フィン



(thermal resistance)です。パッケージの種類によって抵抗値にかなりの差異があります。放熱を必要とする消費電力の比較的高いタイプのパッケージは、この熱抵抗値の小さいものが使われているのがふつうです。フリップチップのパッケージはチップ表面とパッケージ表面の間の熱伝達効率が高く、 θ_{jc} 値を低く抑えられます。熱設計の実務では、この θ_{jc} をデータシートから確認しておく必要があります。一般的にフリップチップ・ベースのFPGAの場合、 θ_{jc} が0.1 ~ 0.4 /W程度です。

4) θ_{ca} : 熱抵抗値 [/W]

パッケージ表面からヒートシンクを通して周辺空気までの熱抵抗値です。細かく規定するときは、パッケージ表面とヒートシンクの接合部の熱抵抗値(θ_{ch})、ヒートシンク自身の熱抵抗値(θ_{hh})、ヒートシンクから空気への熱抵抗値(θ_{ha})を分けて考え、

$$\theta_{ca} = \theta_{ch} + \theta_{hh} + \theta_{ha}$$

となります。 θ_{ch} は熱の伝播面のため、パッケージの熱がヒートシンクに効率良く受け渡しされるように、パッケージとの接合面を鏡面しあげたり、熱伝導シートを入れて表面の密着性を上げたりするくふうを加えることがあります。 θ_{ha} は大気中への熱放散の抵抗値になるため、ヒートシンクの面積が重要になります。 θ_{ha} は、ヒートシンクに与える風の流速により大きく変わります。

5) T_{amb} : 周囲温度 []

パッケージ周囲の空気の温度です。常温(25)とは限らず、使用環境に見合った最大値を与える必要があります。例えば室温で使用する機器であっても、熱設計では50 を適用することがあります。

これらのパラメータは、

$$T_j = P_d \times (\theta_{jc} + \theta_{ca}) + T_{amb} \dots\dots\dots (1)$$

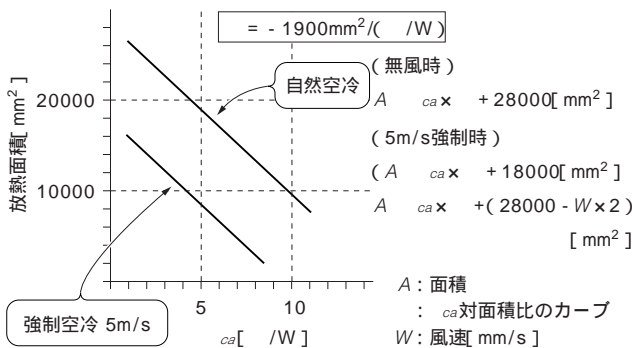


図3 空冷時に必要とする熱抵抗値とヒートシンク表面積の関係
無風時と5m/sの風がある場合を示す

になります。ここで、ジャンクションから周囲空気までの熱抵抗 θ_{ja} は、

$$\begin{aligned} \theta_{ja} &= \theta_{jc} + \theta_{ca} \\ &= \theta_{jc} + \theta_{ch} + \theta_{hh} + \theta_{ha} \end{aligned}$$

です。

● 放熱可能な熱抵抗を求める

LSIの上面に載せるべきヒートシンクの形状や表面積を計算してみましょう。

ここでは、LSIの消費電力を10Wと仮定します。35mm x 35mm程度のパッケージを想定し、 $\theta_{jc} = 0.4$ /Wを使います。使用条件は、ジャンクション温度が150 以下、周囲温度が60 までとします。

いま、式(1)に数値を当てはめると、

$$\begin{aligned} 150 &= 10 \times (0.4 + \theta_{ca}) + 60 \\ (150 - 60)/10 &= 0.4 + \theta_{ca} \\ \theta_{ca} &= 8.6 \text{ [/W]} \end{aligned}$$

となります。すなわち、パッケージ表面から周辺の空気までの熱抵抗値を8.6 /W以下にする必要があります。

● 必要なヒートシンクの表面積を求める

まずヒートシンクの表面積を求めてみます。自然空冷(無風)をベースにします。

図3は、空冷時に必要とする熱抵抗値(/W)とヒートシンク表面積(mm²)の関係を示しています。無風時は、反比例の曲線であり、

$$A = \theta_{ca} \times P_d + 28000$$

ここで、A : ヒートシンクの必要表面積 [mm²], Δ : 面積比特性カーブの傾き, θ_{ca} : 必要な熱抵抗値 [/W]

で実用領域を近似的に表現できます。

この式から8.6 /Wに相当するヒートシンクの表面積を求めてみます。

$$\begin{aligned} A &= -1900 \times 8.6 + 28000 \\ &= 11660 \text{ [mm²]} \end{aligned}$$

5 m/sの風による強制空冷時は、次のように近似できます。

$$A = \theta_{ca} \times P_d + (28000 - W \times 2)$$