

第5章 熱設計

1. 損失の考え方	5-2
2. DCチョッパ応用の場合の発生損失計算方法	5-3
3. 放熱の考え方	5-4
4. ジャンクション温度の計算	5-5

本章では熱設計について説明します。

1. 損失の考え方

IGBTはIGBTのみの製品とIGBT+FWD構成の製品があります。後者の発生損失はIGBTとFWDの2つの発生損失を考慮する必要があります。発生損失の内訳を図5-1に示します。IGBTは、許容できる最大接合部温度 $T_{vj(max)}$ が決められており、この温度以下になる放熱設計が必要です。ここで使用されるオン電圧やスイッチング損失の値には、接合温度 T_{vj} が高温時のデータを使用して計算してください。これらの特性データは仕様書に記載しています。

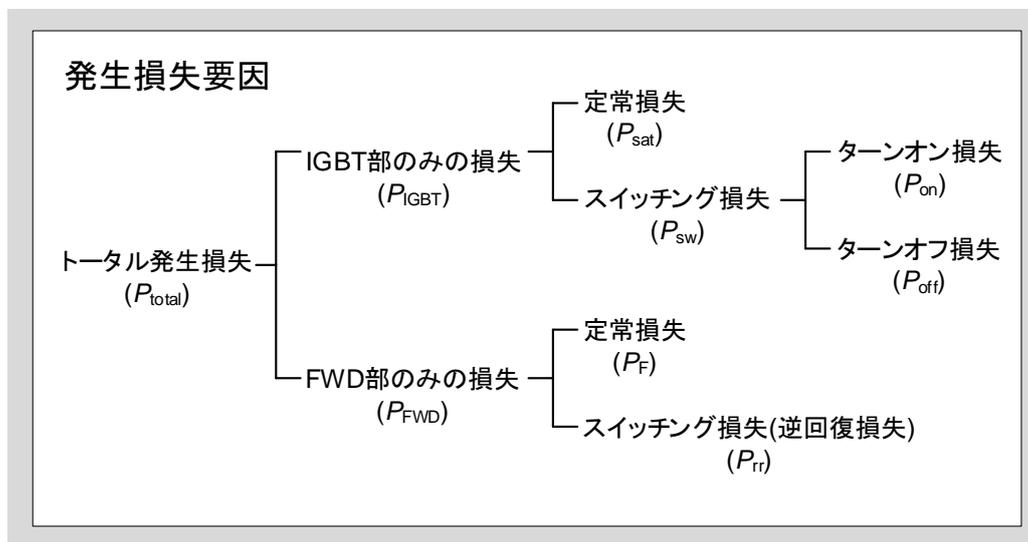


図5-1 発生損失の要因

2.DCチョツパ応用の場合の発生損失計算方法

IGBTまたはFWDに流れる電流を矩形波の連続と考えれば近似計算をすることが出来ます。図5-2(a)にチョツパ回路例を示します。図5-2(b)は近似したDCチョツパ波形であり、発生損失は次のように計算します。

$$\begin{aligned} & \text{IGBT発生損失(W)} \\ & = \text{定常損失} + \text{ターンオン損失} + \text{ターンオフ損失} \\ & = V_{CE(sat)} \cdot I_C \cdot \frac{t_1}{t_2} + E_{on} \cdot f_C + E_{off} \cdot f_C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{FWD発生損失(W)} \\ & = \text{定常損失} + \text{逆回復損失} \\ & = V_F \cdot I_F \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) + E_{rr} \cdot f_C \end{aligned}$$

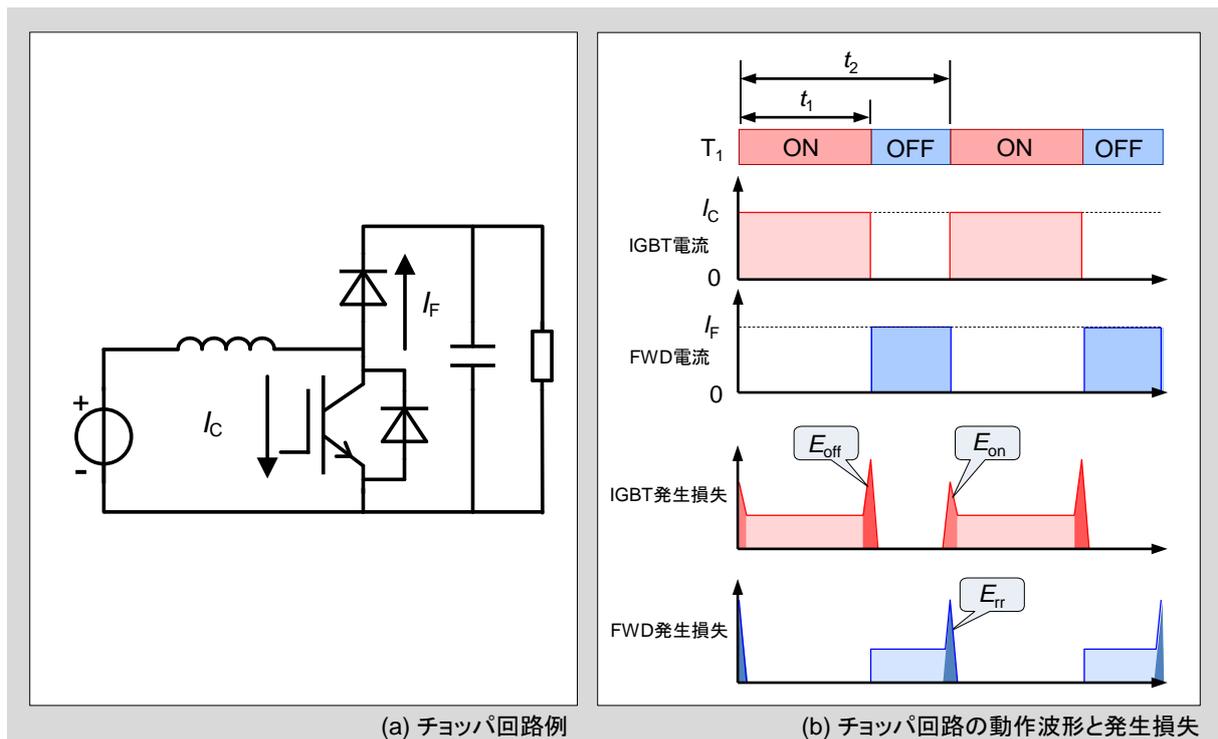


図5-2 チョツパ回路での発生損失

3.放熱の考え方

放熱設計では、発生損失をもとに許容温度以下となるようなヒートシンクの選定を行いません。放熱設計が十分でない場合、実機運転中等に素子の許容温度を超え破壊するといった問題が発生する可能性があります。

<過渡熱抵抗と定常熱抵抗>

IGBTのジャンクション部で発生する損失の放熱処理は、ヒートシンクに取付ける場合と素子自身だけの場合の2通りがあります。図5-3に前者の放熱経路を便宜的に電気的等価回路で模擬したものを示します。

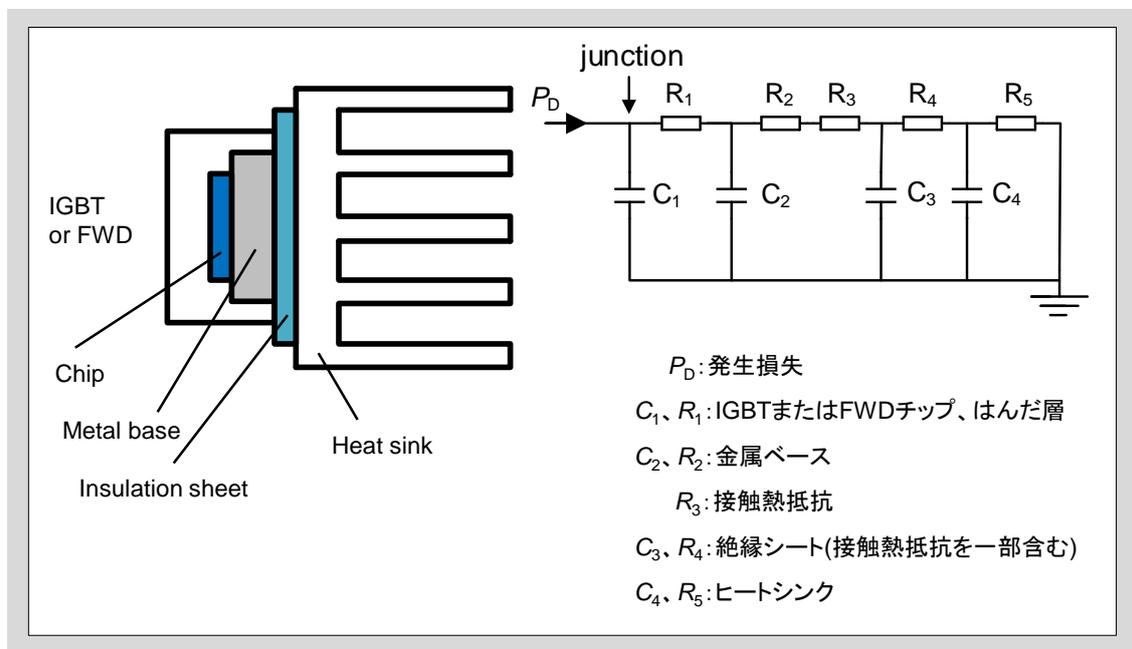


図5-3 熱挙動の電気的等価回路

過渡熱抵抗は図5-3の等価回路で、熱容量 $C_1 \sim C_4$ の影響がある時間範囲の熱抵抗であり、時間の関数です。各素子の過渡熱抵抗特性は、データシートにその最大値が明記され、繰り返し率 $D \leq 0$ がそれに当ります。またヒートシンクの過渡熱抵抗は次式で得られます。

$$R_{f(t)} = R_{th(f-a)} \left(1 - \frac{t}{\tau f} \right)$$

$$\text{ただし、} \tau f = R_{th(f-a)} \cdot V \cdot \gamma \cdot C$$

$R_{th(f-a)}$: ヒートシンク定常熱抵抗[°C/W]

t : 時間[sec]

τf : ヒートシンクの熱時定数[sec]

V : ヒートシンク体積[cm³]

γ : 比重[g / cm³]

C : 比熱[J / g·deg]

この計算に必要な材料の比重と比熱を表5-1に、アルミヒートシンク(黒色塗装)の定常熱抵抗を図5-4に示します。

表5-1 各材料の比重と比熱

材料	比重 γ [g/cm ³]	比熱 [J/g·deg]
アルミニウム	2.71	0.895
銅	8.96	0.383

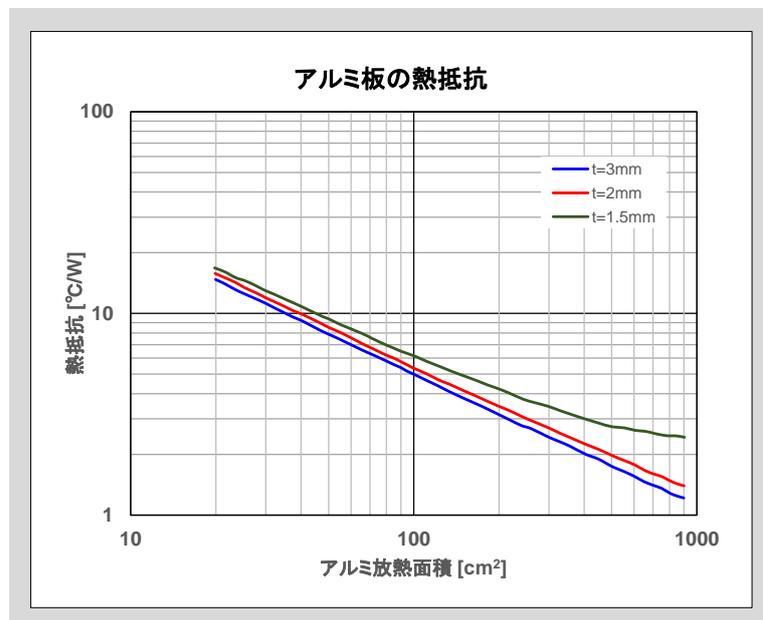


図5-4 アルミヒートシンクの定常熱抵抗

4. ジャンクション温度の計算

定常熱抵抗は熱容量の影響が全くなくなった以降の熱抵抗であり、ジャンクション温度は簡単に求めることができます。

$$T_{vj} = T_a + P_D \cdot (R_{th(j-c)} + R_{th(c-i)} + R_{th(i)} + R_{th(i-f)} + R_{th(f-a)})$$

T_{vj} : ジャンクション温度

T_a : 周囲温度

$R_{th(j-c)}$: ジャンクション-ケース間熱抵抗
(IGBTまたはFWD熱抵抗)

$R_{th(i)}$: 絶縁シート熱抵抗

$R_{th(c-i)}$ 、 $R_{th(i-f)}$: 接触熱抵抗

$R_{th(f-a)}$: ヒートシンク熱抵抗

P_D : 発生損失

<過渡状態の熱方程式>

一般的には、前に示したように平均発生損失から定常状態の T_{vj} を考えれば充分です。しかし、実際にはスイッチング毎に発生損失はパルス状となるので図5-5に示すように温度リップルを生じます。この場合、発生損失を一定周期かつ一定ピーク値の連続矩形波パルスと考えれば、仕様書に記載されている図5-6に示すような過渡熱抵抗曲線を使用して温度リップルのピーク値($T_{vj\text{p}}$)を近似的に計算することができます。

この $T_{vj\text{p}}$ も $T_{vj(\text{max})}$ を超えないことを確認しヒートシンクを選定してください。

$$T_{vj\text{p}} - T_C = P \cdot [R_{(\infty)} \cdot \frac{t_1}{t_2} + R_{(t_1+t_2)} \cdot (1 - \frac{t_1}{t_2}) - R_{(t_2)} + R_{(t_1)}]$$

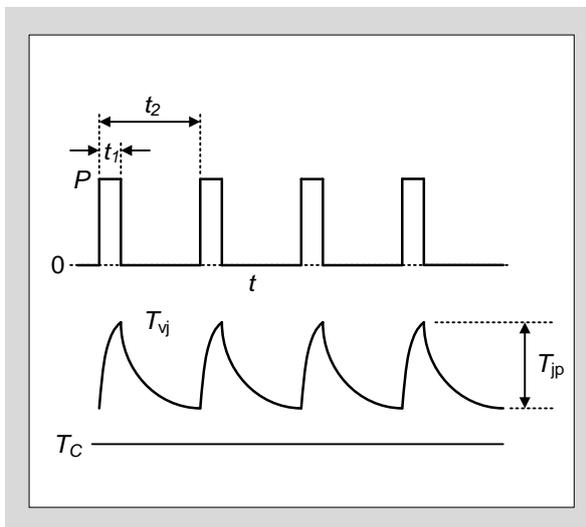


図5-5 温度リップル

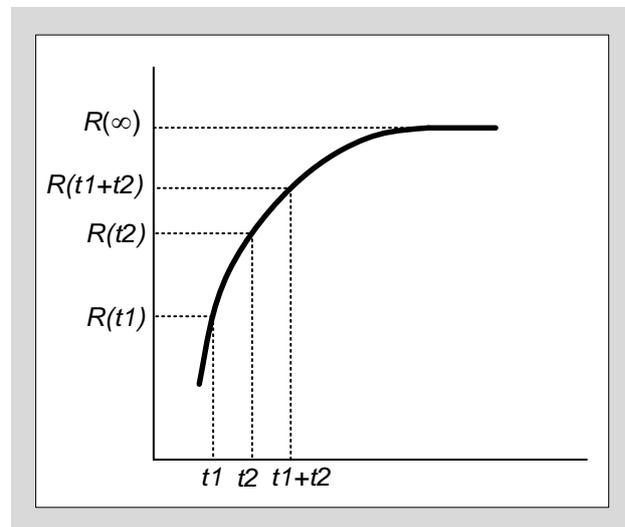


図5-6 過渡熱抵抗曲線

<素子の過渡熱抵抗特性>

ディスクリートIGBTの仕様書には、熱設計を補助するために素子の過渡熱抵抗特性が記載されています。図5-7にFGW40XS120C(IGBT)の過渡熱抵抗特性を示します。

例えば図5-7においてパルス幅1msの単発パルスとした場合、 $T_a=40^{\circ}\text{C}$ の条件下で 5°C/W のヒートシンクに取り付けた場合の許容電力損失 P_D は、

$$\begin{aligned}
 P_D &= \frac{T_{vj(\max)} - T_a}{R_{th(f-a)} + R_{th(1\text{ms})}} \\
 &= \frac{175 [^{\circ}\text{C}] - 40 [^{\circ}\text{C}]}{5 [^{\circ}\text{C/W}] + 0.2 [^{\circ}\text{C/W}]} \\
 &\cong 25.96 [W]
 \end{aligned}$$

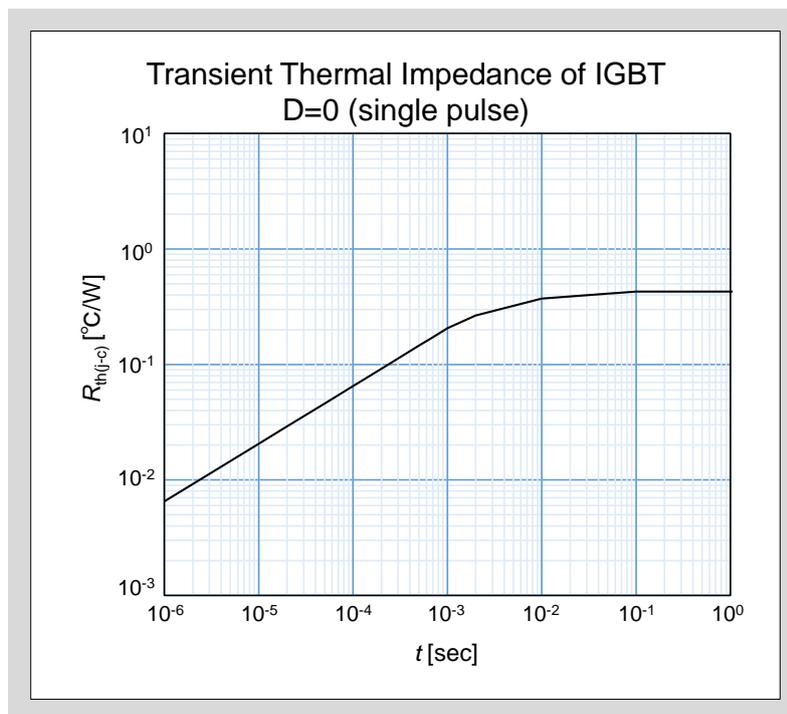


図5-7 FGW40XS120C (IGBT)の過渡熱抵抗特性