

熱設計

消費電力計算時の注意点 静的動作編

電源装置など大きな消費電力が発生する回路を設計する場合、MOSFET などのデバイスでジャンクション温度が絶対最大定格を超えないことをシミュレーションや計算で確認しますが、ここで使用するパラメータが適切でないと誤った設計値になります。このアプリケーションノートでは、熱設計をともなう消費電力計算に使用するパラメータの注意点について記載しています。

ジャンクション温度の計算式

MOSFET のジャンクション温度は一般的に式 1 のように、ジャンクションから周囲温度までの熱抵抗にデバイスの消費電力を乗算し、周囲温度を加算して求めます。ジャンクションから周囲温度までの熱抵抗には、Figure 1 のようにジャンクションからケースまでの熱抵抗、TIM (Thermal Interface Material) を含んだケースからヒートシンクまでの接触熱抵抗、ヒートシンクから周囲温度までの熱抵抗が含まれます。

$$T_J = (R_{thJC} + R_{thCH} + R_{thHA}) \times P_D + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

- R_{thJC} : ジャンクションからケースまでの熱抵抗 [$^\circ\text{C}/\text{W}$]
- R_{thCH} : ケースからヒートシンクまでの熱抵抗 [$^\circ\text{C}/\text{W}$]
- R_{thHA} : ヒートシンクから周囲温度までの熱抵抗 [$^\circ\text{C}/\text{W}$]
- P_D : デバイスの消費電力 [W]
- T_A : 周囲温度 [$^\circ\text{C}$]

使用するパラメータの注意点

デバイスの消費電力の求め方は回路動作によって異なりますが、ここでは説明を簡単にするためにスイッチング動作を伴わない静的動作で説明します。

MOSFET がオンしているときの消費電力は導通損で求めることができ、式(2)のように、ドレイン電流の 2 乗に、ドレイン - ソース間オン抵抗を乗算して求めます。

$$P_D = I_D^2 \times R_{DS(on)} \quad [W] \quad (2)$$

- I_D : ドレイン電流 [A]
- $R_{DS(on)}$: ドレイン - ソース間オン抵抗 [Ω]

$R_{DS(on)}$ はデータシートの値を参照しますが、 25°C 時の標準値ではなく、ジャンクション温度での最大値を使用します。この値を使用しないとジャンクション温度が低い見積もりとなってしまう、誤った結果が得られます。

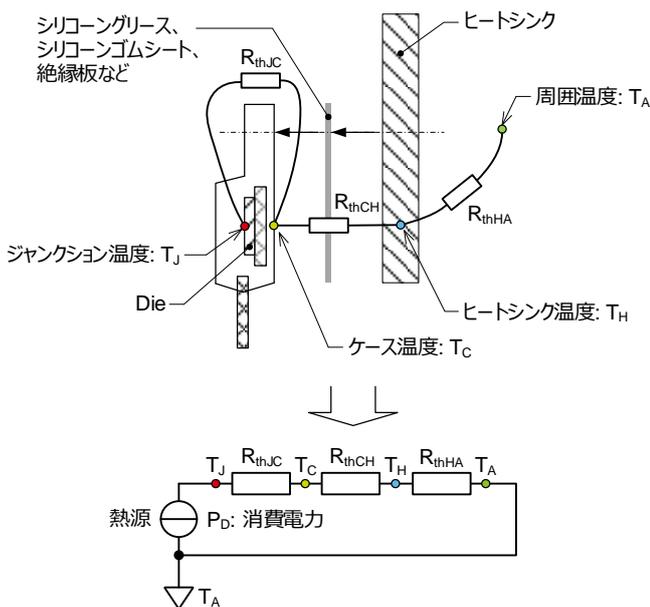


Figure 1. 放熱等価回路

ジャンクション温度の算出方法

それではグラフを使ってジャンクション温度を求める方法を説明します。例として N-channel SiC power MOSFET [SCT4036KR](#) のデータシートを使用します。

まず計算に必要なパラメータの値を準備します。この例では下記の値を使って計算します。

$$I_D = 17 \text{ [A]}$$

$R_{DS(on)}$: あとで求める。

$$R_{thJC} = 0.85 \text{ [}^\circ\text{C/W]} \quad (\text{データシートより})$$

$$R_{thCH} = 0.67 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$R_{thHA} = 1.48 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$T_A = 65 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

R_{thJC} はデータシートに記載している最大値を使用します (Figure 2)。

●Thermal resistance					
Parameter	Symbol	Values			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Thermal resistance, junction - case	R_{thJC}	-	0.65	0.85	K/W

Figure 2. データシート上の R_{thJC} の規格値
最大値を使用する

ジャンクション温度 T_J は式 1 で計算しますが、 P_D を求める時に使用する $R_{DS(on)}$ の値はジャンクション温度での値を使用する必要があります。現時点では T_J は未知数のため、 $R_{DS(on)}$ の値も何度の時の値を使うか決めることができません。そこでまず各温度での $R_{DS(on)}$ の最大値を準備します。

Figure 3 はデータシートに掲載している $R_{DS(on)}$ 対 ジャンクション温度グラフです。デジタイザソフトなどを使って値を読み取ります。

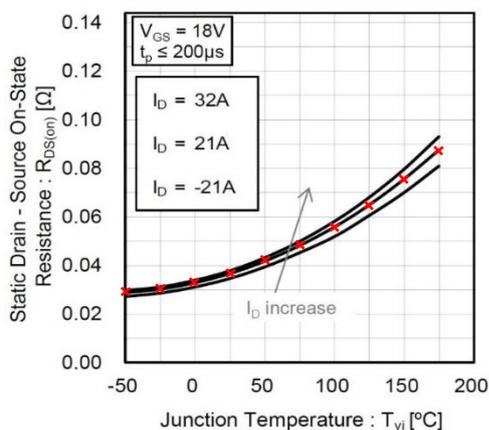


Figure 3. データシートに掲載している
 $R_{DS(on)}$ 対 ジャンクション温度グラフ

読み取った値を Figure 4 のように Excel でグラフにします。近似曲線を追加し、近似式を表示します。

このグラフは標準値なので最大値を求めます。データシートに Figure 5 のようにオン抵抗の規格が載っています。この例では標準値 36mΩ、最大値 47mΩなのでその比率は 1.3056 倍になります。次に先程の近似式を使って各温度でのオン抵抗を求めますが、値を 1.3056 倍してオン抵抗の最大値とします。低温は必要ないので高温部分だけの計算でかまいません (Figure 6)。

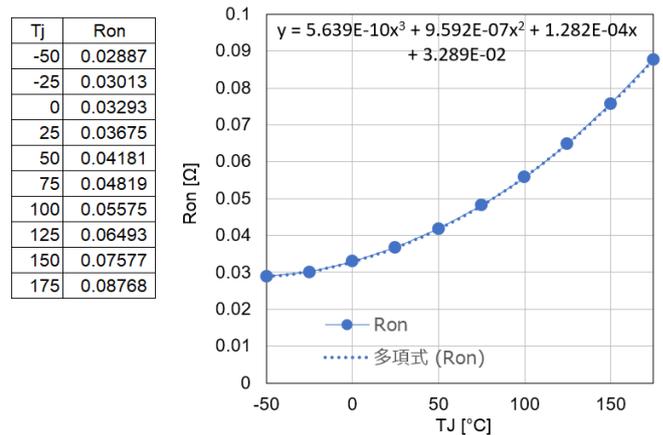


Figure 4. 読み取った値を Excel でグラフ化し、
近似曲線と近似式を表示

Gate threshold voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{GS} = 18V, I_D = 11.111A$	4.0	-	4.0	V
Static Drain - Source on - state resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 18V, I_D = 21A$ $T_{vj} = 25^\circ\text{C}$ $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$	-	36	47	mΩ
Gate input resistance	R_i	$f = 1MHz, open drain$	1	-	-	Ω

Figure 5. データシート上のオン抵抗の規格値

x	y	$y \times 1.3056$
Tj	Ron typ	Ron max
70	0.04676	0.06105
71	0.04703	0.06140
72	0.04730	0.06176
73	0.04758	0.06212
74	0.04786	0.06248
...
172	0.08619	0.11253
173	0.08670	0.11319
174	0.08721	0.11386
175	0.08772	0.11453

Figure 6. 近似式を用いて各温度でのオン抵抗の最大値を求める

続けて各温度での消費電力を求めます。消費電力は式 2 を使用して、各温度でのオン抵抗は Figure 6 で求めた値を使います (Figure 7)。

T _J	R _{on}	P _D
70	0.06104	17.64
71	0.06140	17.74
72	0.06176	17.85
73	0.06212	17.95
74	0.06248	18.06
...
172	0.11252	32.52
173	0.11319	32.71
174	0.11386	32.90
175	0.11453	33.10

Figure 7. 式 2 を使用して各温度での消費電力を求める

次はケースの放熱曲線を求めます。ケースの放熱電力 P_Cは式 3 で求めることができます。

$$P_C = \frac{T_J - T_A}{R_{thJC} + R_{thCH} + R_{thHA}} \quad [W] \quad (3)$$

T_J: ジャンクション温度 [°C]

T_A: 周囲温度 [°C]

R_{thJC}: ジャンクションからケースまでの熱抵抗 [°C/W]

R_{thCH}: ケースからヒートシンクまでの熱抵抗 [°C/W]

R_{thHA}: ヒートシンクから周囲温度までの熱抵抗 [°C/W]

放熱曲線は直線上に変化するので、低温と高温の 2 点だけ計算します (Figure 8)。

T _J	P _C = (T _J -T _A) / (R _{thJC} +R _{thCH} +R _{thHA})
70	1.67
175	36.67

Figure 8. 式 3 を使用して放熱曲線を求める

前出で求めた消費電力 P_Dと放熱電力 P_Cをグラフ上に重ねて表示します (Figure 9)。消費 (発熱) 電力 P_Dと放熱電力 P_Cが等しく (P_D=P_C) になった温度がジャンクション温度になります。グラフでは両曲線の交点がジャンクション温度なので、目盛りを拡大して温度を読み取ります (Figure 10)。この例では 151.2°C となり、デバイスの絶対最大定格を超えてしまいました。

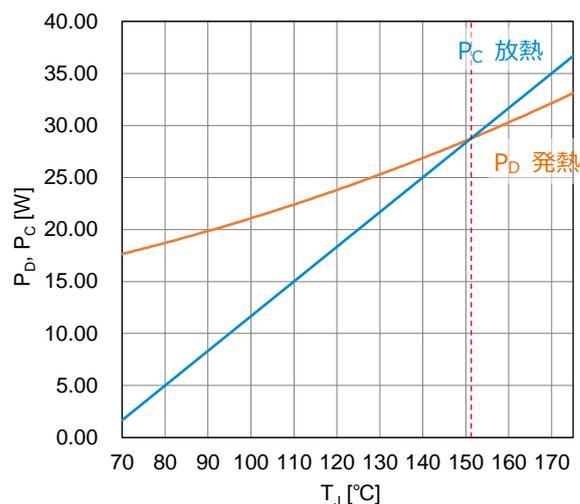


Figure 9. 消費電力 P_Dと放熱電力 P_Cを重ねて表示

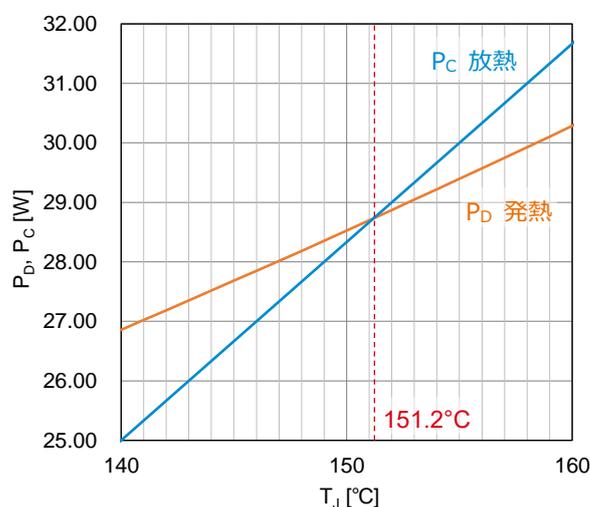


Figure 10. 目盛りを拡大して交点の温度を読み取る

もし、P_Dを計算するとき使用する R_{DS(on)}を 25°C の最大値 (Figure 5) を使用した場合にジャンクション温度はいくらになるか、式 1 と 2 を使って計算してみます。

$$P_D = I_D^2 \times R_{DS(on)} = 17^2 \times 47 \times 10^{-3} = 13.58 \text{ [W]}$$

$$T_J = (R_{thJC} + R_{thCH} + R_{thHA}) \times P_D + T_A \\ = (0.85 + 0.67 + 1.48) \times 13.58 + 65 = 105.7 \text{ [°C]}$$

正しく計算した場合と比べて 45.5°C も低い結果になりました。このように消費電力を計算するときは、その温度 (高温) での値を使用しないと誤った見積もりをしてしまい、実機で熱トラブルになる可能性があります。

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>