

リニアレギュレータシリーズ

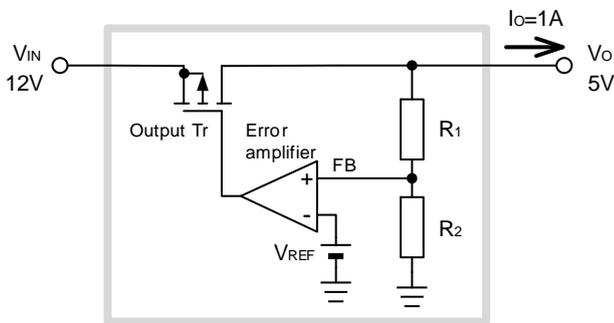
3 端子レギュレータの放熱設計

No.16020JAY20

3 端子レギュレータは安定化された電源電圧を簡単に作れるため便利ですが、使用条件によっては大量の熱が発生します。熱設計を考慮しないと IC の性能を十分に発揮できず、また半導体の寿命を縮める結果となります。このアプリケーションノートでは TO220CP-3 パッケージで放熱板を使用した熱設計について説明します。

3 端子レギュレータの 78 シリーズ (ローム形名は BA178xx) で、5V 出力品のデータシートを見ると、入力電圧範囲は 7.5V~25V、出力電流は 1A と書かれています。例えば入力電圧を 12V、出力電流を 1A で使用すると、約 7W の損失が発生します (Figure 1)。

により異なりますのでデータシートで確認する必要があります。



$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_O + (V_{IN} \times I_{CC}) \quad [W]$$

$$= (12 - 5) \times 1 + (12 \times 4.5m) = 7.054 \quad [W]$$

I_{CC} : IC の消費電流 [A]

Figure 1 電力損失

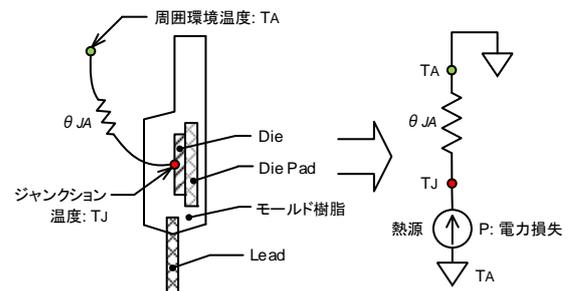


Figure 2 放熱等価回路

それでは放熱板を使用しない状態で出力電流は幾らまで扱えるかを計算してみましょう。ジャンクション温度の最大定格は 150°C であり、この温度で動作させても直ぐに壊れることはありませんが、信頼性に与える影響は非常に大きくなっています。信頼性を確保するためには、一般的にジャンクション温度は最大定格の 80% 以下で使用するのが良いとされており、温度が 10°C 上る毎にデバイスの寿命は半分になり、故障率は 2 倍になると言われています。このため、1°C でも温度を下げ故障率を下げる設計が必要です。

放熱板を使用しない場合

データシートには TO220CP-3 パッケージの熱抵抗データが記載されており、これを元にジャンクション温度を計算します。放熱板を使用しない場合の放熱等価回路を Figure 2 に示します。この等価回路より式(1)が成り立ちます。周囲環境温度が 25°C 時のジャンクション温度 T_J は次のようになります。

条件

入力電圧 $V_{IN} = 12[V]$

出力電圧 $V_O = 5[V]$

最大周囲環境温度 $T_{Amax} = 60 [^{\circ}C]$

最大ジャンクション温度 $T_{Jmax} = 120 [^{\circ}C]$ (定格の 80%)

熱抵抗 $\theta_{JA} = 62.5 [^{\circ}C/W]$ (データシートより)

$$T_J = \theta_{JA} \times P + T_A \quad [^{\circ}C] \quad (1)$$

$$= 62.5 \times 7 + 25^{\circ}C = 462.5 [^{\circ}C]$$

θ_{JA} : IC のジャンクションと周囲温度間の熱抵抗 [$^{\circ}C/W$]

P : IC の電力損失 [W]

T_A : 周囲温度 [$^{\circ}C$]

$$P = \frac{T_{Jmax} - T_{Amax}}{\theta_{JA}} = \frac{120 - 60}{62.5} = 0.96 \quad [W] \quad (2)$$

$$I_O = \frac{P}{V_{IN} - V_O} = \frac{0.96}{12 - 5} = 0.137 \quad [A] \quad (3)$$

ジャンクション温度の最大定格が 150°C なので、これでは使用できないことが判ります。なおジャンクション温度の最大定格は IC

放熱板を使用しない場合は、1A の能力に対して僅か 0.137A の電流しか扱えないことが判ります。

放熱板を使用した場合

IC を効率よく使用するためにはジャンクション温度を下げる必要があります。放熱板を装着して熱抵抗を小さくします。Figure 3 に放熱板を使用した場合の放熱等価回路を示します。

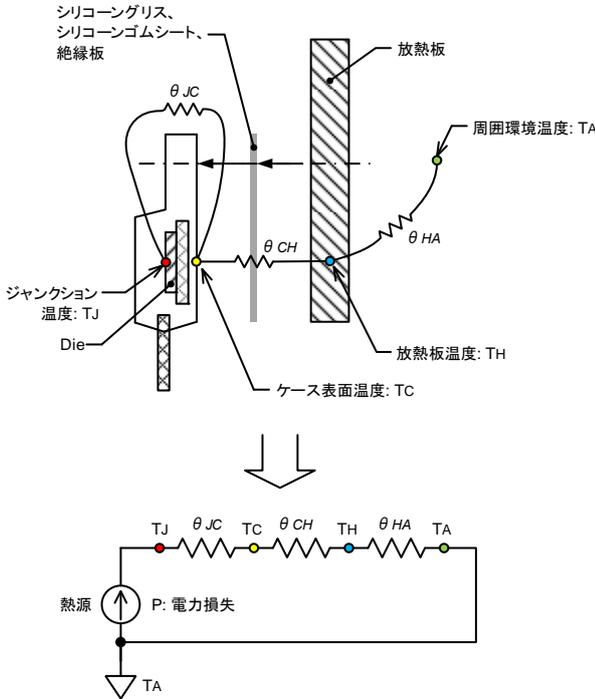


Figure 3 放熱等価回路

θ_{JC} : ジャンクション・ケース間熱抵抗

IC の電力損失 P が熱源となり、ダイのジャンクション温度 T_J が上昇します。TO220CP-3 パッケージは、ケース裏面にネジで放熱板を取り付けられる形状になっています。ダイの熱(ジャンクション温度 T_J)はケース裏面(ケース表面温度 T_C)へ伝わりますが、この間の熱抵抗は θ_{JC} で表され、値はデータシートに記載されています。

θ_{CH} : 接触熱抵抗

ケース裏面(ケース表面温度 T_C)と放熱板(放熱板温度 T_H)の間は熱抵抗 θ_{CH} で表され、ケースと放熱板の接触熱抵抗です。接触熱抵抗は、ケースと放熱板接触面の接触状態により決まり、接触面の平坦度、接触面積、締め付け強度に大きく影響されます。接触面にシリコングリス等を塗布せず直接取り付けると、平坦度と接触面積の安定性が確保できず熱抵抗のばらつきが大きくなるため推奨できません。接触面には必ずシリコングリス等を塗布し熱抵抗を安定して低く保ってください。

接触面にはシリコングリスを塗布するかシリコンラバーシートを挟み込みますが、これらの熱抵抗の正確な値は各メーカーへお問い合わせください。また概算値はカタログから以下のように求めることができます。

シリコングリスのカタログには熱伝導率の値が記載されており、その値はおおよそ 1~6 [W/m·K] です。これを熱抵

抗へ換算するには次式を使用します。

$$\theta = \frac{t}{K \times L \times W} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (4)$$

t : シリコングリスの厚み [m]

K : 熱伝導率 [W/m·K]

L : ケース接触面の長さ [m]

W : ケース接触面の幅 [m]

計算例

条件(単位に注意)

シリコングリスの厚み $t = 0.1$ [mm]

熱伝導率 $K = 1$ [W/m·K]

TO220CP 接触面の長さ $L = 15$ [mm] (データシートより)

TO220CP 接触面の幅 $W = 10$ [mm] (データシートより)

$$\theta = \frac{t}{K \times L \times W} = \frac{0.1}{1 \times \frac{15}{1000} \times \frac{10}{1000}} = 0.67 \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (5)$$

シリコングリスの塗布厚を変えたときの計算結果を Table 1 に示します。この表よりシリコングリスは薄く均一に塗布しないと熱抵抗が上昇することが判ります。

熱伝導率 (W/m·K)	熱抵抗 (°C/W)		
	t = 0.1mm	t = 0.2mm	t = 0.3mm
1~6	0.11~0.67	0.22~1.33	0.33~2.0

Table 1 シリコングリスの塗布厚と熱抵抗

ケースと放熱板間を絶縁する場合、通常はマイカなどの絶縁板を使用しますが、ローム製 TO220CP-3 パッケージ(Figure 4)は全面がモールド樹脂で覆われているため、裏面に金属部が露出しておらず、絶縁板は不要になっています。

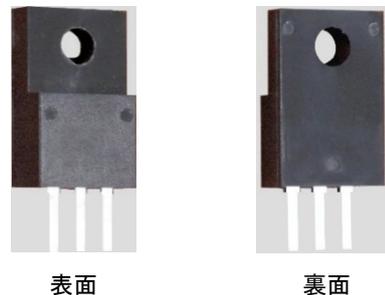


Figure 4 ローム製 TO220CP-3 パッケージ

θ_{HA} : 放熱板熱抵抗

放熱板温度 T_H と周囲環境温度 T_A の間は熱抵抗 θ_{HA} で表され、放熱板表面より雰囲気へ放出される熱経路になります。放熱板は形状や雰囲気の状態など、分布定数的な熱抵抗になるため数式で表すことが難しく、実測による算出が現実的です。放熱板の熱抵抗は放熱器メーカーへお問い合わせください。

放熱板を使用した場合の放熱等価回路を Figure 3 に示しましたが、この等価回路より放熱に必要な放熱板の熱抵抗 θ_{HA} を求めます。等価回路より式(6)(7)が成り立ちます。

$$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) \times P + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (6)$$

$$\theta_{HA} = \frac{T_J - T_A}{P} - \theta_{JC} - \theta_{CH} \quad [^\circ\text{C}/\text{W}] \quad (7)$$

$$= \frac{T_J - T_A}{(V_{IN} - V_O) \times I_O + (V_{IN} \times I_{CC})} - \theta_{JC} - \theta_{CH} \quad [^\circ\text{C}/\text{W}] \quad (8)$$

θ_{HA} : 放熱板熱抵抗 [$^\circ\text{C}/\text{W}$]

θ_{JC} : ジャンクションとケース間の熱抵抗 [$^\circ\text{C}/\text{W}$]

θ_{CH} : 接触熱抵抗(シリコングリスなど) [$^\circ\text{C}/\text{W}$]

T_J : ジャンクション温度 [$^\circ\text{C}$]

T_A : 周囲環境温度 [$^\circ\text{C}$]

V_{IN} : 入力電圧 [V]

V_O : 出力電圧 [V]

I_O : 出力電流 [A]

I_{CC} : IC の消費電流 [A]

最初に計算した、「放熱板を使用しない場合」と同じ条件で計算をおこないます。

条件

入力電圧 $V_{IN} = 12$ [V]

出力電圧 $V_O = 5$ [V]

出力電流 $I_O = 0.5$ [A]

IC の消費電流 $I_{CC} = 4.5$ [mA] (データシートより)

周囲環境温度 $T_A = 60$ [$^\circ\text{C}$]

ジャンクション温度 $T_J = 120$ [$^\circ\text{C}$] (定格の 80%)

熱抵抗 $\theta_{JC} = 5.7$ [$^\circ\text{C}/\text{W}$] (データシートより)

熱抵抗 $\theta_{CH} = 0.3$ [$^\circ\text{C}/\text{W}$] (メーカーより)

式(8)より、

$$\theta_{HA} = \frac{120 - 60}{(12 - 5) \times 0.5 + (12 \times 4.5m)} - 5.7 - 0.3 = 10.9 \quad [^\circ\text{C}/\text{W}]$$

放熱器メーカーのカatalogより、熱抵抗が $10.9^\circ\text{C}/\text{W}$ 以下の放熱板を選択します。放熱板を使用しない場合は 0.137A までの電流しか扱えませんでした。放熱板を使用することにより 0.5A の電流が扱えるようになりました。なお熱抵抗の計算結果が小さいとき、ゼロあるいはマイナスの場合は、放熱板を使用してもジャンクション温度が目標値を実現できないことを意味します。この場合は、入力電圧を下がるか、出力電流を小さくするなどの検討が必

要になります。

放熱板取り付け時の注意点

- 放熱板との取り付け面の平坦度は 0.05mm 以下にしてください (取り付け穴部分のバリやタレを含む)。平坦で無い場合、ケースやダイの破損、ケースと放熱板の密着性の劣化が発生します。
- IC ケースと放熱板の間にシリコングリスを薄く均一に塗布するか、シリコンラバーシートを挟み込んで、接触熱抵抗を下げてください。
- ネジは丸ネジ、なべネジ、トラスネジ、バインドネジ、平ネジを使用してください。
- タッピングネジは締め付けトルクの最大値を超える可能性がありますので使用しないでください。
- 皿ネジはデバイスに異常な応力が加わりますので使用しないでください。
- ケースと放熱板が密着しないと接触熱抵抗が大きくなり十分な放熱効果が得られなくなるため指定のトルクでネジ止めしてください。トルクが大きすぎると IC にダメージを与えます。ネジは締め付けトルクが管理できるトルクドライバでおこなってください。

パッケージ	締め付けトルク [$\text{N}\cdot\text{m}$]
TO220CP-3	0.4 ~ 0.6

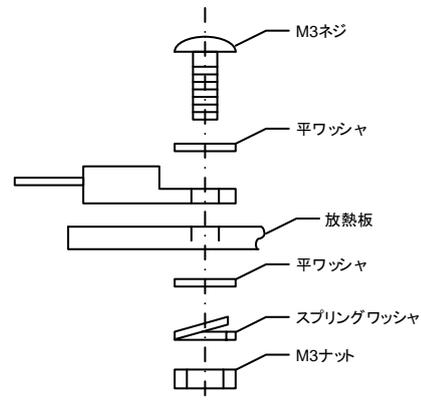


Figure 5 実装例

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) 本製品は、一般的な電子機器（AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器など）および本資料に明示した用途への使用を意図しています。
- 7) 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おられません。
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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。
- 11) 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ものです。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。
- 12) 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でご使用ください。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。
- 13) 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。
- 14) 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/>