



Is Now Part of



ON Semiconductor®

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

AN-9079

取り付けトルクによる SPM[®] 2 シリーズの熱性能

概要

半導体デバイスは接合部温度から大きな影響を受けます。接合部温度が上昇すると、デバイスの動作特性が変わり、故障率が急増します。このため、デバイスの開発ステージや用途においては、パッケージの熱設計が極めて重要です。特に、接点圧または取り付けトルクが熱性能に影響を及ぼす場合があります。このアプリケーションノートでは、取り付けトルクと熱抵抗の相関関係を説明します。

デバイスの熱性能を把握しようとするとき、一般的には熱抵抗を利用します。熱抵抗は二つの隣接等温面の温度差を2面間で流れた電気の総量で割った値と定義されます。半導体デバイスでは、一般的に接合部温度 T_J と基準温度 T_x が使用されます。流れた電気の量は、動作中のデバイスの電力消費量と等しくなります。基準点には特に選択基準はありませんが、デバイス背面で温度が最も高くなり、通常は、ヒートシンクが設置されている場所が選ばれます。これは接合・ケース間熱抵抗 ($R_{\theta JC}$) と呼ばれます。基準点が周囲温度の場合、接合・周囲間熱抵抗 ($R_{\theta JA}$) と呼ばれます。両方ともデバイスの熱性能特性として使用されます。 $R_{\theta JC}$ は通常、ヒートシンクに取り付けられたデバイスに用いられ、 $R_{\theta JA}$ はヒートシンク不要のデバイスに用いられます。図 1 は、ヒートシンク搭載のモーション SPM で接合部から周囲への熱の移動を示す熱回路図です。点線で描かれたコンポーネント $R_{\theta CA}$ は、値が大きいため、無視できます。

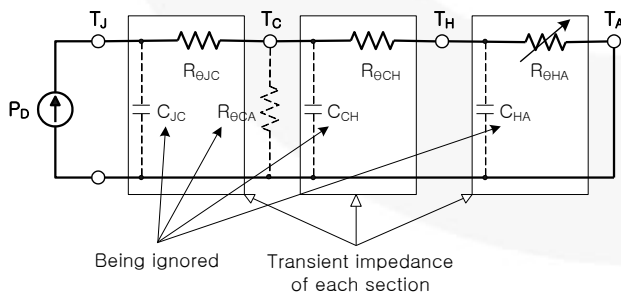


図 1. ヒートシンクを装備した過渡熱等価回路

モーション SPM の熱抵抗は、次の式のように定義します。

$$R_{\theta JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D} \quad (1)$$

ここで、 $R_{\theta JC}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) は接合部温度対ケース温度の熱抵抗、 P_D (W)、 T_J ($^{\circ}\text{C}$)、 T_C ($^{\circ}\text{C}$) はそれぞれデバイスの電力消費、接合部温度、ケースの基準温度を指します。 T_C を周囲温度 (T_A) と置き換えると、接合部温度対周囲温度の熱抵抗 $R_{\theta JA}$ は次式で算出できます。

$$R_{\theta JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} \quad (2)$$

ここで、 $R_{\theta JA}$ はヒートシンクを含む SPM の熱性能全体を指します。次の式で示すように、 $R_{\theta JA}$ は、基本的に熱抵抗 $R_{\theta JC}$ 、 $R_{\theta CH}$ 、 $R_{\theta HA}$ の総計になります。

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CH} + R_{\theta HA} \quad (3)$$

この $R_{\theta CH}$ は、パッケージのケースとヒートシンク間の接触熱抵抗であり、隙間には放熱グリスを充填済み、 $R_{\theta HA}$ はヒートシンク熱抵抗であるとしています。式から、SPM の電力容量を最大に高めるには、 $R_{\theta JC}$ だけでなく $R_{\theta CH}$ と $R_{\theta HA}$ を最小限に抑えることが必須です。 $R_{\theta CH}$ と $R_{\theta HA}$ がゼロ、ケース温度 T_C が固定の周囲温度 T_A に固定されているとすると、無限のヒートシンクができあがります。一般的に、 $R_{\theta CH}$ の値は放熱グリスの厚みに比例し、生産工場の技術力に左右されますが、 $R_{\theta HA}$ は適切なヒートシンクの選定により若干の調整は可能です。

実際の動作では、電力損失 P_D は、一定値の DC ではなく、AC の値です。このため、図 1 の過渡 RC 等価回路を検討する必要があります。パルス状の電力損失では、熱容量で接合部温度の上昇に遅延が生じ、その結果、1200 V モーション SPM 2 シリーズの比較的大容量の負荷が許容されるようになります。

図 2～図 7 は、1200 V SPM2 シリーズの熱インピーダンス曲線を示しています。熱抵抗は 1 秒未満で飽和します。他タイプのモーション SPM 製品も同様の特性を示します。

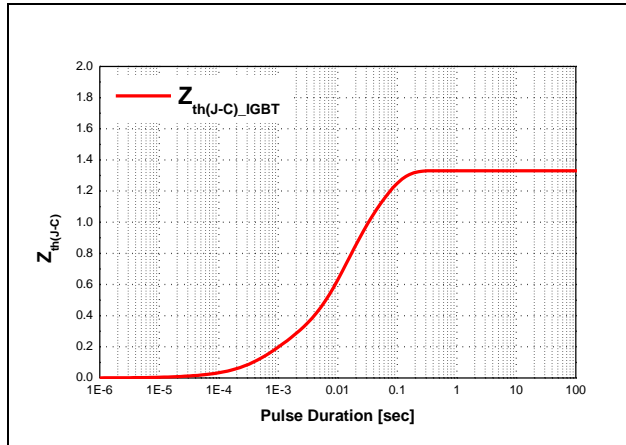


図 2. 熱インピーダンス曲線 (FNA21012A の IGBT)

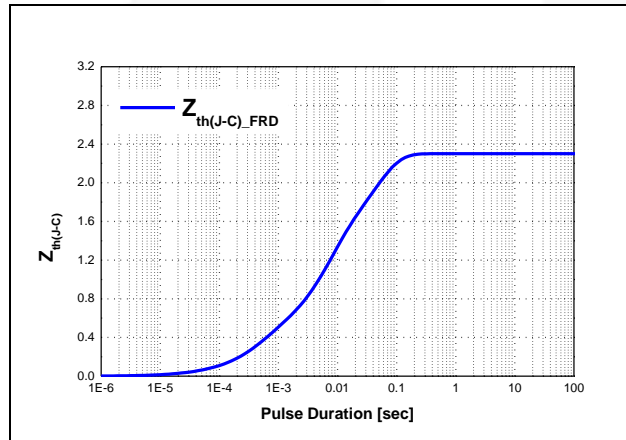


図 3. 熱インピーダンス曲線 (FNA21012A の FRD)

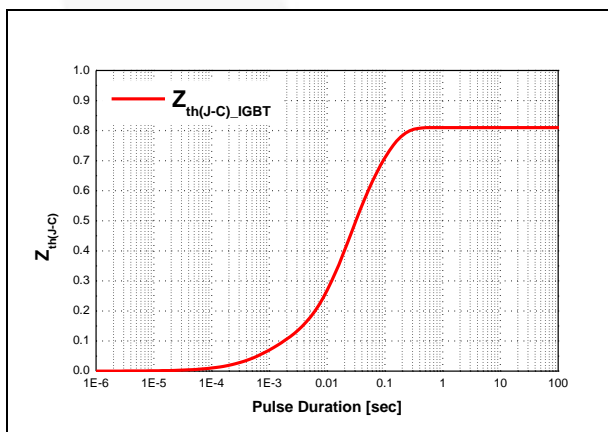


図 4. 熱インピーダンス曲線 (FNA22512A の IGBT)

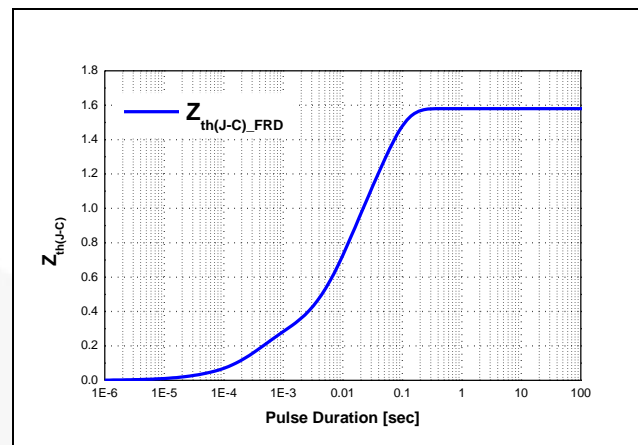


図 5. 熱インピーダンス曲線 (FNA22512A の FRD)

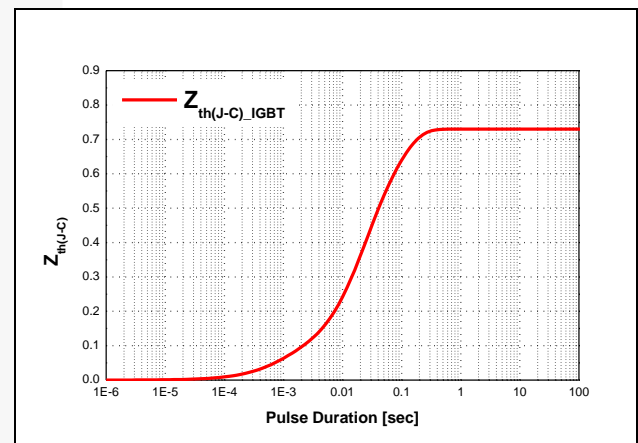


図 6. 熱インピーダンス曲線 (FNA23512A の IGBT)

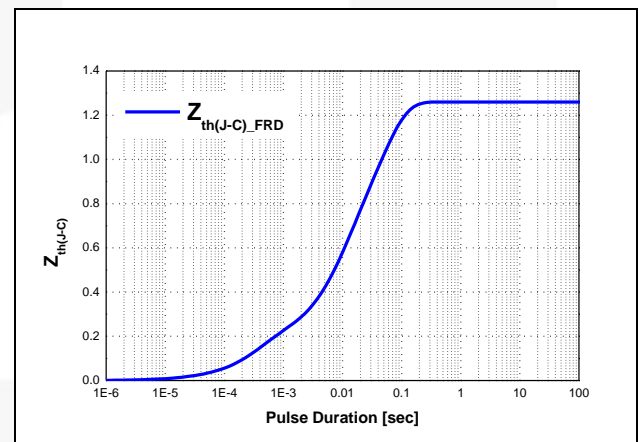


図 7. 熱インピーダンス曲線 (FNA23512A の FRD)

さらに詳細な情報が必要な場合は「[AN-9071](#)」をご参照ください。さまざまなタイプのヒートシンクと併用した SPM 45 シリーズの熱性能をご確認いただけます。

T_J の測定方式

熱抵抗テストでは T_J、T_C (または T_A)、P_D を測定する必要があります。T_C、T_A、P_D は直接測定できるため、不明な定数は接合部温度 T_J のみとなります。接合部温度の測定には、電気テスト法 (ETM) が一般に使用されています。ETM 方式はフォワード電圧降下と接合部温度の関係に基づいています。この関係は半導体接合部の固有電熱特性で、一定のフォワードバイアス電流 (センス電流) を適用したとき、ほぼリニアな反応が得られます。この接合部での電圧降下は温度感受性パラメータ (TSP) と呼ばれます。図 8 は、ダイオードの接合部温度と電圧降下の測定を示す概念図です。被計測体 (DUT) を高温の液体中に浸漬し、目的のテスト温度まで加熱します。

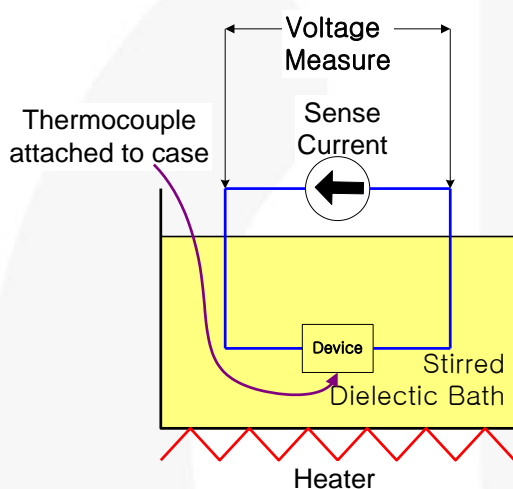


図 8. バス方式による TSP 測定図

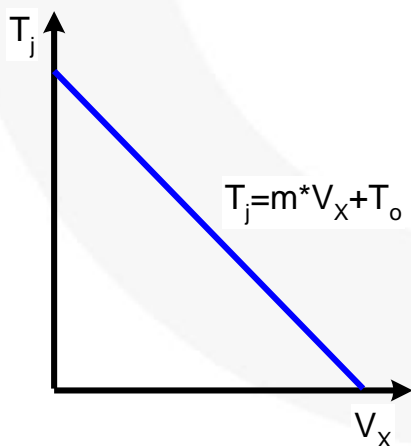


図 9. コンスタント・センス電流を用いた TSP プロット例

DUT が高温の液体で熱平衡状態となったとき、接合部にセンス電流を適用します。そして、接合部での電圧降下を接合部の温度関数として測定します。センス電流で DUT が加熱されないように、センス電流の量は少量にします。デバイスタイプによって異なります

が、1~10 mA 程度の電流であれば問題ありません。特定の温度範囲内で、特定の温度ごとに測定を繰り返します。図 9 は標準的な結果を示しています。

特定温度下における接合部温度と電圧降下の関係は、次の式のように表現できます。

$$T_J = m * V_X + T_O \quad (4)$$

この直線で表される関係は、傾き m (°C/V) と温度の切片座標 T_O (°C) を使用して定量化されます。一般的に、この傾きの逆数は「K 計数 (V/°C)」と呼ばれます。ここでは V_X (V) が TSP です。

半導体接合部については、直線図 9 の傾き m は常に負の値となるため、接合部温度が上昇するほど順方向導通電圧は低下します。この式 (4) を得るプロセスは、所定のデバイスのプロセスと呼ばれます。

熱抵抗測定テストでは、校正プロセスと式を使い、所定のセンス電流の電圧降下測定値から接合部温度を見積もることができます。TSP はデバイスによって異なります。特定のデバイスでダイオード電圧 TSP を得られない場合は、トランジスタ飽和電圧で代用できます。IGBT や MOSFET では、ゲートターンオン電圧を TSP として使用できます。

T_J の測定結果

下図は FNA21012A のデバイス接合部の校正測定結果であり、図 10 が IGBT、図 11 が FRD の結果を表しています。傾き m (°C/V) と温度の切片座標 T_O (°C) は、表 1 のとおりになります。

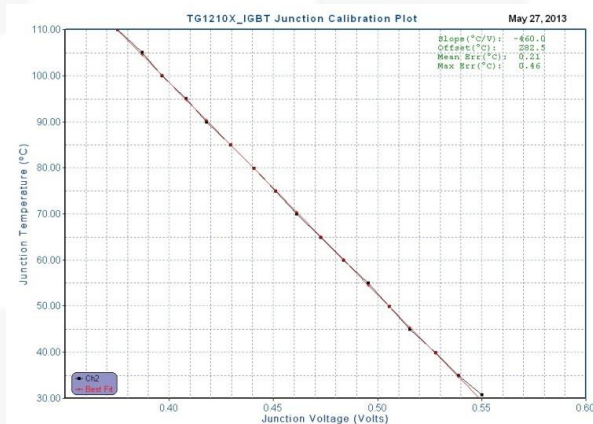


図 10. デバイス接合部の校正結果

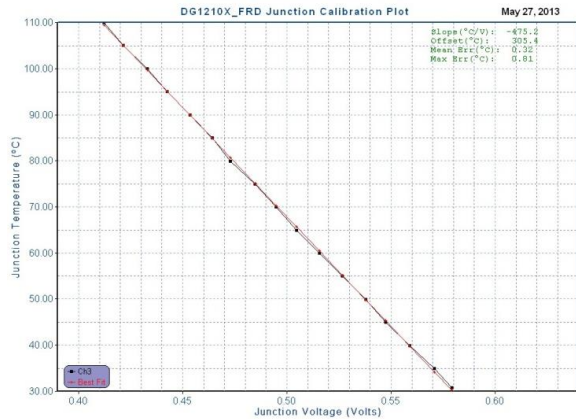


図 11. デバイス接合部の校正結果

表 1. m (°C/V) と温度の切片座標 T_0 (V) (FNA21012A)

| デバイス | | m (°C/V) | T_0 (°C) | センス電流 |
|-----------|------|------------|------------|-------|
| FNA21012A | IGBT | -460.0 | 282.5 | |
| | FRD | -475.2 | 305.3 | |

熱抵抗 ($R_{\theta JC}$)

接合部温度対ケース温度の熱抵抗 $R_{\theta JC}$ は式 (1) で算出できます。通例、熱抵抗の測定は、パッケージ中央部とチップ中央部の異なる 2 点間で行います。表 2 はチップ中央部で測定した値です。

表 2. $R_{\theta JC}$: 熱抵抗 (°C/W)

| 分類 | SPL | P(W) | T_J | T_C | $R_{\theta JC}$ |
|----------------------|-----|-------|--------|-------|-----------------|
| FNA21012A チップの中央部 | #1 | 62.28 | 121.10 | 60.40 | 0.97 |
| | #2 | 62.28 | 121.80 | 61.80 | 0.97 |
| | #3 | 62.28 | 120.50 | 60.10 | 0.96 |

SPM 製品のデータシートの $R_{\theta JC}$ はチップ中央部の値であり、製造上のばらつきを想定したマージンが含まれています。

取り付けトルクで異なる熱性能

パワーデバイスは接合部温度から大きな影響を受けます。接合部温度が上昇すると、デバイスの動作特性が変わり、故障率が急増します。接点圧力と取り付けトルクは熱性能に影響を及ぼす場合があります。

実際の測定ポイント

図 12 は実際の測定ポイント、図 13 はデータシート記載のケース温度 (T_C) 検出ポイントです。

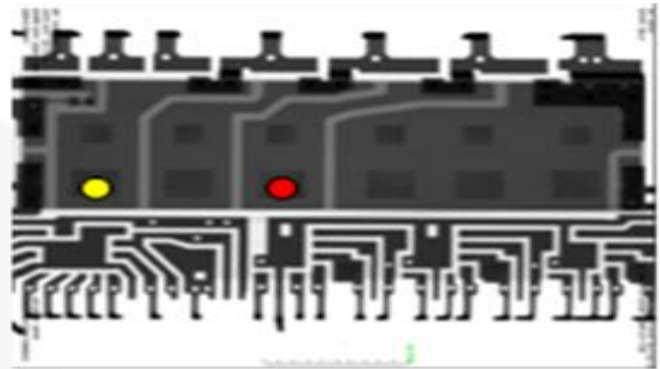


図 12. 実際の測定ポイント

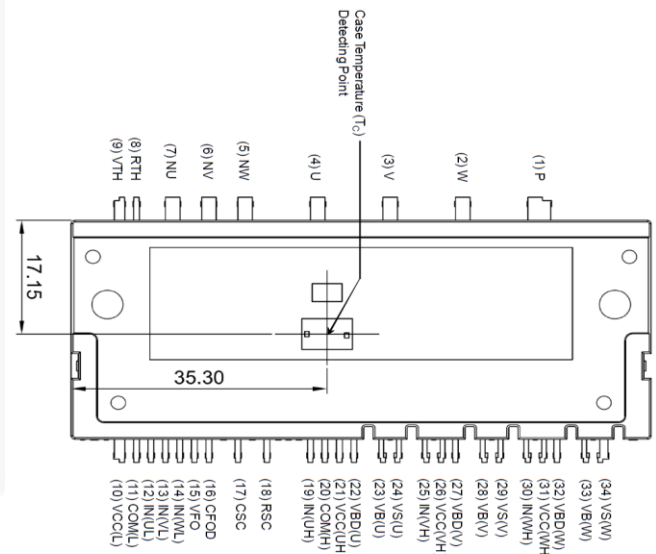


図 13. データシートの仕様に記載されたケース温度の検出ポイント

$R_{\theta JC}$ chip center は赤い点の位置で測定されており、IGBT はこの赤い点とまったく同じ位置で加熱されません。 $R_{\theta JC}$ chip center は、熱電パンの起点となる接合部であるため、パッケージやヒートシンクの反りに影響されません。

IGBT が黄色の点で加熱される場合、 $R_{\theta JC}$ package center は赤い点の位置で測定されます。

テスト方法

図 14 に示されているとおり、まず右側、次に左側を少しずつ (1, 3, 5, 7, 10, 12, 15 kg.f-cm) 締め、トルクが変わるたびに熱抵抗を測定します。

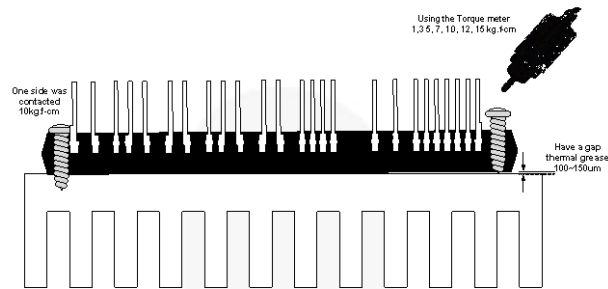


図 14. テスト方法

テスト結果

図 15 は、RθJC_package center 対取り付けトルクのテスト結果と、RθJC_chip center 対取り付けトルクのテスト結果を示しています。

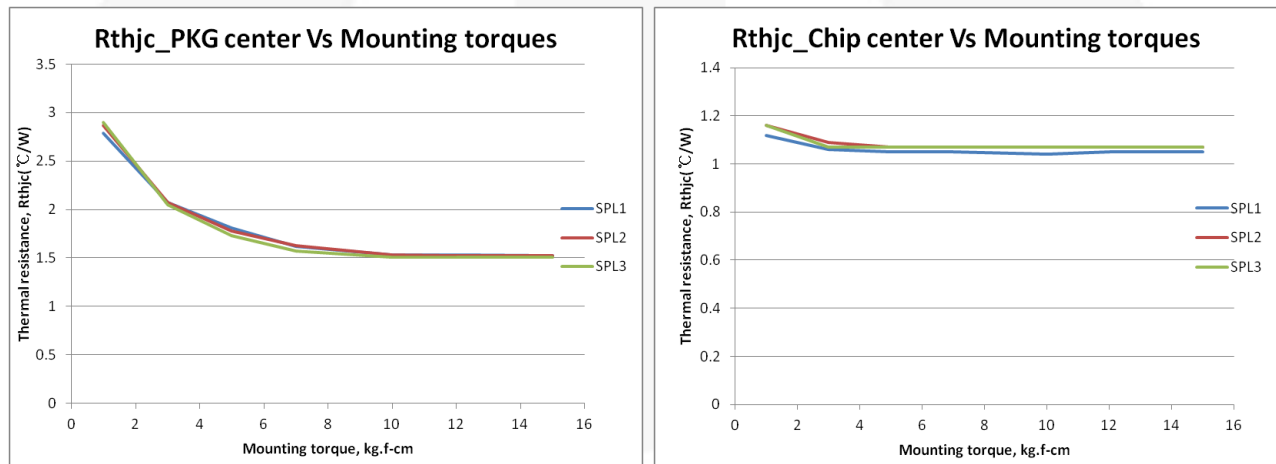


図 15. 取り付けトルクで異なる熱抵抗

テスト結果によると、取り付けトルクが 10 kg.f-cm を超えると熱抵抗が飽和することがわかります。したがって、1200 V SPM 2 シリーズには、10 kg.f-cm 以上の取り付けトルクをお勧めします。

関連資料

[AN-9071 – スマートパワーモジュール SPM™ を組み込んだ \$\mu\$ ミニ DIP SPM の熱性能情報](#)

[AN-9075 – 1200 V モーション SPM® 2 シリーズユーザーガイド](#)

[AN-9076 – 新 SPM® 2 パッケージ取り付けガイド](#)

免責事項

フェアチャイルドセミコンダクターは、信頼性、機能、設計の改善のため、本稿記載の製品を予告なく変更する権利を留保します。フェアチャイルドは本稿記載の製品または回路のアプリケーションや使用に起因する一切の責任を負わないものとします。また、特許権その他の権利に関するライセンスは一切許可していないものとします。

生命維持の方針

フェアチャイルドセミコンダクターの社長が書面で明示的に承認しない限り、フェアチャイルド製品を生命維持装置または生命維持システムの重要部品として使用することは承認されていません。

本規約内の定義:

1. 生命維持装置または生命維持システムとは、システムや装置のうち、(a) 外科的手段で体内に移植することを目的とするもの、または (b) 生命維持を支援または直接担うもの、または (c) ラベルに記載された使用手順に従って適切に使用しても、故障時には使用者に重大な傷害を及ぼすことが十分に予想されるものです。
2. 重要部品とは、生命維持装置または生命維持システムのあらゆる部品のうち、故障が生命維持装置または生命維持システムの故障につながる部品か、安全性または有効性への影響が十分に予想される部品です。

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local
Sales Representative