

パワーサイクルおよび温度サイクルについて

本書について

適用範囲と目的

このアプリケーションノートは、AN2010-02「IGBT4のパワーサイクルカーブの使用」[1]に代わるもので、以下の製品に適用されます：産業用パワーモジュール(ベースプレート付き/なし)、インテリジェントパワーモジュール(IPM)、ディスクリートデバイス。

インフィニオンのパワーサイクルと温度サイクルについて、図の使用方法と、適切なサイクルカウントを行うためのレインフロー法によるアルゴリズムの適用方法について、必要な情報をすべてまとめています。

目次

目次

本書について.....	1
目次	2
1 はじめに	3
2 パワーサイクル.....	4
2.1 主な定義と用語.....	4
2.2 アプリケーション例.....	9
3 温度サイクル	12
4 寿命計算用レインフローアルゴリズム	14
5 参考資料	17
改訂履歴	18
免責事項	19

1 はじめに

1 はじめに

同じ種類の産業用パワーモジュール, IPM モジュール, および/またはディスクリートデバイスを使用するアプリケーションでは、温度条件の異なる負荷条件により、熱ストレスのレベルが異なることがあります。パワー半導体デバイスに求められる製品寿命を保証するのに必要な手続きが、仕様となります。負荷によるストレスは、図で定義された限界値を超えないようにしてください。

サイクル耐量は、ジャンクション温度 ΔT_{vj} によるパワーサイクル (PC) と、はんだ接合部およびケース温度 ΔT_c による温度サイクル (TC) とに分かれています。

本アプリケーションノートでは、根本的な故障メカニズムと、それに対応するパワーサイクルおよび温度サイクル図について、深く説明します。

特にこのアプリケーションノートでは、産業用パワーモジュールのパワーサイクルおよび温度サイクル図の両方の使用について詳しく説明しています。

IPM モジュールおよびディスクリート製品に関しては、本アプリケーションノートでは、パワーサイクル図にのみ焦点を当てています。したがって、この文書で説明されている温度サイクル情報は、これらの製品には適用されません。

また、本アプリケーションノートでは、構造, 電流密度, サイズ, チップテクノロジーなどが異なる製品を対象としていますので、選択した製品に対してそれぞれの信頼性カーブを適用してください。

2 パワーサイクル

2 パワーサイクル

一般的にワイヤボンディングプロセスは、Figure 1 に示すように、産業用パワーモジュール、IPM、ディスクリットデバイスなど、本書で取り上げる特定の製品の電気的な相互接合に使用されます。

例えば、Figure 1 の IGBT パワーモジュールのサンプルは、約 450 本の配線と 900 本のウェッジボンディングで構成されています。この接合技術の信頼性について、長年にわたり懸念されてきました。

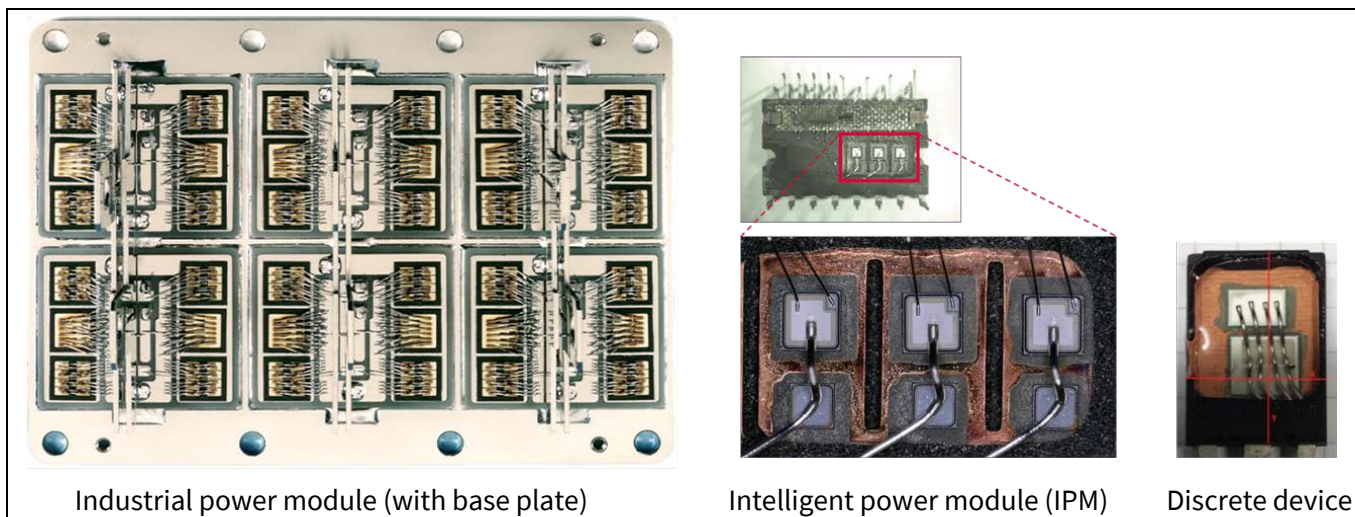


Figure 1 ベースプレート、インテリジェントパワーモジュール(IPM)、IGBT ディスクリットデバイスを一パッケージ化した産業用パワーモジュールの内部図 (代表的な外観)

加速パワーサイクル試験、故障メカニズムの解析、ボンディングおよびダイアタッチ技術の改良に多大な労力を費やしてきました。ワイヤの組成、ボンディングツールの形状、ボンディングパラメータ、チップのメタライズ、モールドコンパウンドの開発、拡散はんだ付けや焼結などのチップの接合プロセスの改善により、パワーデバイスの信頼性と寿命は大幅に改善されました。

パワーサイクルでは、ジャンクション温度が数秒単位で比較的短い間隔で上下します。パワーサイクルは、主にシリコンチップ上のボンディングワイヤや、チップ下のはんだ接合部に負荷がかかります。パワー半導体デバイスのパワーサイクル耐量は、ジャンクション温度 T_{vj} 、温度スイング ΔT_{vj} 、持続時間 t_{cyc} 、サイクル内のオン時間 t_{on} に依存します。一般に、今回のようなパワーサイクル試験では、負荷電流や $T_{vj,max}$ など同じ条件が定期的に繰り返されます。

IPM のようにオン時間 t_{on} の PC(パワーサイクル)カーブがない製品の場合、簡略化のために時間依存のパワーサイクルの影響を省略できます。

2.1 主な定義と用語

T_{vj} の定義

ジャンクション温度 T_{vj} は、半導体の接合部の温度です。ジャンクション温度は間接的な測定か計算でしか決定できないため、「仮想ジャンクション温度」と呼ばれます。

$T_{vj,max}$ の定義

最大ジャンクション温度 $T_{vj,max}$ は、パワーサイクル図に示される温度サイクル中に、特定のデバイスが到達する最大許容値です。最大ジャンクション温度 $T_{vj,max}$ が高いほど、デバイスへの負荷は高くなり、その結果、サイクル数が減少します。

パワーサイクルおよび温度サイクルについて

2 パワーサイクル

$T_{vj,mean}$ の定義

平均ジャンクション温度 $T_{vj,mean}$ は、パワーサイクル試験中の最小および最大ジャンクション温度 T_{vj} からの平均値、すなわち、 $T_{vj,mean} = 0.5 * (T_{vj,min} + T_{vj,max})$ とします。

t_{off} の定義

ターンオフ時間 t_{off} は無負荷の期間です。温度 T_j が所望の ΔT_j を達成するために必要なレベルまで調整されます。一般的な t_{off} 時間は加熱時間 t_{on} と同じ範囲になります。

t_{on} の定義

ターンオン時間 t_{on} は、デバイスに電力損失が発生する期間であり、例えばモータ駆動の加速段階のような、 T_{vj} の定常的な温度上昇をもたらします。ターンオン時間が長くなると、温度上昇が大きくなり、デバイスにかかる負荷も大きくなるため、寿命のサイクル数が少なくなります。これは、ターンオン期間が長くなると、熱機械サイクルを受ける材料層の粘塑性変形エネルギーによって説明できます。例えば、産業用パワーモジュールの場合、ショートサイクル PCsec 試験の一般的な t_{on} は 1.5 秒です。

t_{cyc} の定義

時間 t_{cyc} は $t_{on} + t_{off}$ の 1 パワーサイクルの周期です。産業用パワーモジュールの場合、短周期の PCsec 試験における一般的な t_{cyc} は 3 秒です。

Figure 2 にパワーサイクル図の一例を示します。上記ボンディングワイヤ接合部の寿命期間で達成可能な負荷 (=温度サイクル数) に対する温度スイングを表示したものです。ジャンクション温度は、実験室条件下での測定、またはアプリケーション条件下でのシミュレーションが可能で、指標として使用されています。

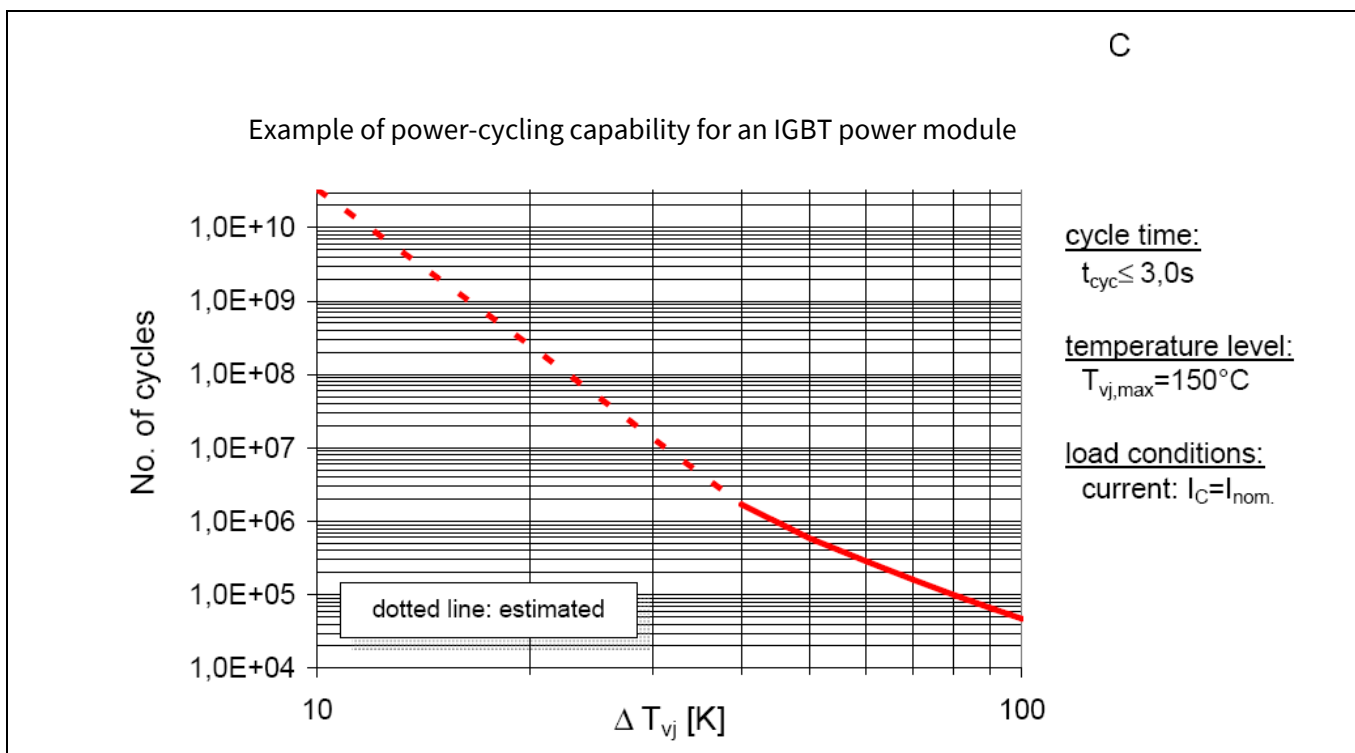


Figure 2 最大ジャンクション温度でのパワーサイクル負荷におけるジャンクション温度上昇とサイクル数の一例を示す図

2 パワーサイクル

ジャンクション温度のスイングが $\Delta T_j=60\text{ K}$ の場合、この図からデバイスが30万サイクルに耐えられることが読み取れます。異なるメーカーのこのような図を正しく解釈するためには、基礎となる条件を知ることが重要です。

I_{nom} の定義

ディスクリートの場合、デバイスを流れる電流はパワーサイクル試験に大きな影響を及ぼします。したがって、定格電流 I_{nom} の関数として、パワーサイクル図が追加されています。定格電流は、パワーサイクル試験における t_{on} 期間中のデバイスを流れる電流の振幅値です。

さらに、定格電流はデバイスの特性評価用に設計で選択された電流に相当します。IGBT の V_{CEsat} や安全動作領域 (SOA)、MOSFET の $R_{DS(on)}$ など、データシートの主要な電気的パラメータを指定する際の基準となるものです。IGBT デバイスの場合、定格電流値が製品名に含まれていることが非常に多く、データシートでも $T_c=100^\circ\text{C}$ での DC コレクタ電流パラメータとして指定されています。

なお、IGBT ディスクリート (IGBT とダイオードチップを1パッケージ化したもの。Figure 1 のサンプルと同様) の場合、ダイオードの定格電流にかかわらず、ダイオードの定格電流 I_{nom} は IGBT と同じです。

対応するパワーサイクル図を求めるために、適用可能な定格電流 I_{nom} はデバイスを流れる RMS 電流と同じです。

パワーサイクルおよび温度サイクルについて

2 パワーサイクル

故障判定基準は何ですか？

インフィニオンは、 R_{th} の 20% 増加、またはオン電圧が 5% 増加することを故障の指標としています。これにより、0 時間の値が typ. 値に近い製品では、「故障」したデバイスのパラメータはまだデータシートの範囲内です。

この曲線が成立する温度レベルはどのくらいでしょうか？

インフィニオンは、すべての温度スイングが最大ジャンクション温度 T_{jmax} に達すると仮定した「ワーストケース」カーブを示しています。

故障率はどのくらいですか？

故障率とは、上記の基準に従って、市場でデバイスが何らかの故障を示す確率のことです。通常、インフィニオンは PC カーブを決定するのに 5% の故障率を使用しています。しかし、ディスクリートの場合、1%, 5%, および 10% の故障確率を示す PC カーブがリリースされています。

PC に関連すると考えられるサイクル時間とは？

特に産業用パワーモジュールの場合、インフィニオンのテストは、 $t_{on} + t_{off} = 3$ 秒のサイクル時間で実施されます。インフィニオンの調査は、 t_{on} 時間が 0.1~60 秒の範囲に対応しています。この領域では、Figure 3 に示すような典型的な依存関係を示すことができます。近似値として、0.1~60 秒区間の限界に達したディレーティングファクターは、この領域を拡張する t_{cyc} にも使用する必要があります。短いサイクルでは、これは保守的なアプローチと見なされます。長いサイクルでは、粘弾性変形が $t > 60$ 秒で飽和するという仮定に基づいて近似されます。

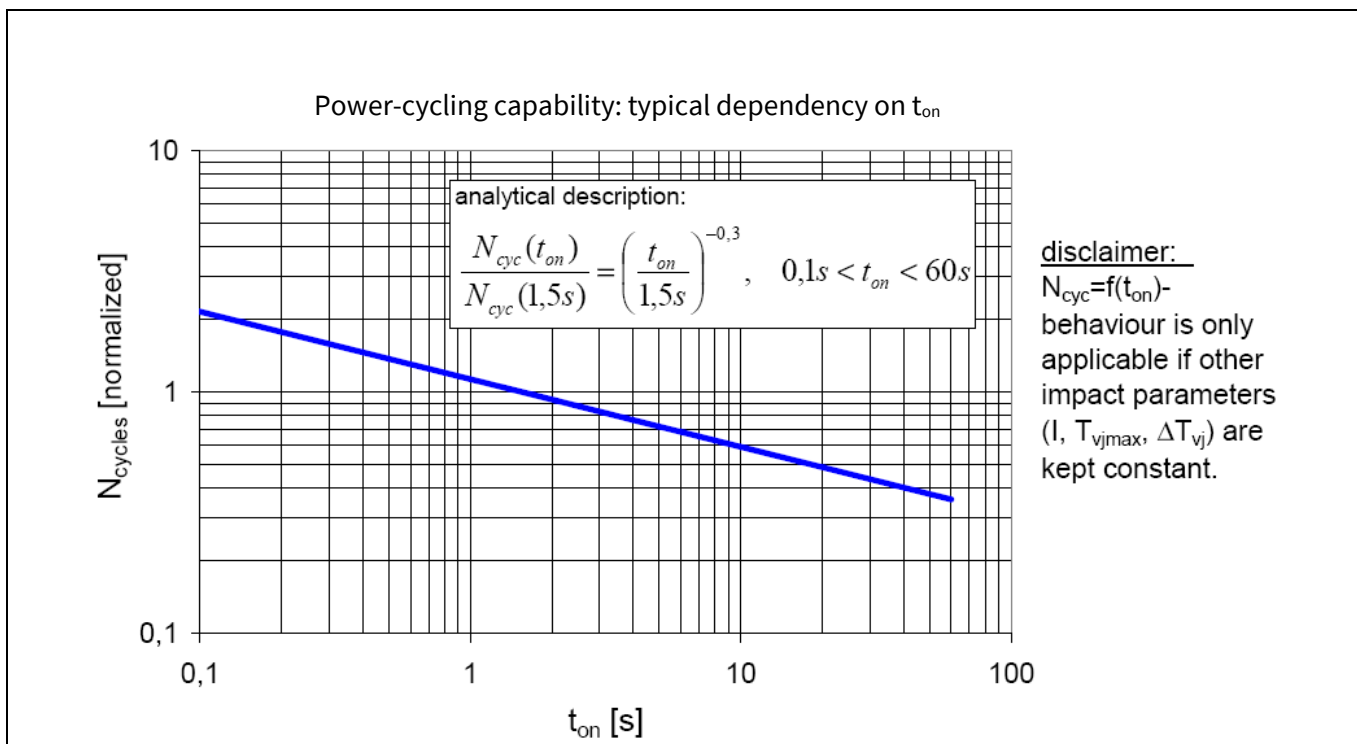


Figure 3 産業用パワーモジュール IGBT4 のサイクル性能のターンオン時間 t_{on} への依存性を示す図

競合他社のパワーサイクル図では、「偽装」された条件や適用された故障基準を明示せずに、より多くのサイクル数が描かれている場合があります。これはよくあることのため、直接比較できません。試験結果や信頼性図表を事実上「改善」する方法は、以下のようなものが挙げられます：

- 故障判定基準を実際の故障のレベルまで上げる

2 パワーサイクル

- 故障率の高い図を表示する
- T_{jmax} をより低い温度で使用する
- 複数のチップを並列に搭載したモジュールでは避けられない不均一性を避けるために、モジュール全体をテストするのではなく、単一チップをテストする
- 実際のアプリケーションでは、損失と t_{on} は一定で、 ΔT_j は R_{th} の劣化によって上昇することが許されているのに対し、 ΔT_j を一定に保つために損失または加熱時間 t_{on} を制御する試験戦略を適用する。
- スイッチング損失による部分的な発熱で、ボンディングワイヤ接続部への負荷を低減します。その結果、より低い電流負荷で同じ損失 (温度変化) が同時に発生する可能性があるため、ボンディングワイヤへのストレスが低減される

パワーサイクルおよび温度サイクルについて

2 パワーサイクル

2.2 アプリケーション例

以下の例では、パワーサイクル図を使用して、一般的なアプリケーション条件におけるデバイスのパワーサイクル数を定義する方法について説明します。各例で使用されているパワーサイクル耐量を求める方法は、産業用パワーモジュール、IPM、ディスクリットデバイスなど、どの製品にも適用可能です。

例 1

産業用パワーモジュールは、間欠動作、10 秒のターンオン期間、60 秒のサイクルタイムのモータ駆動インバータに使用されます。この負荷により、IGBT のジャンクション温度は 85 °C から 125 °C に上昇します。これは、 $\Delta T_{vj} = 40 \text{ K}$ の反復的な接合部温度の変動を意味します。

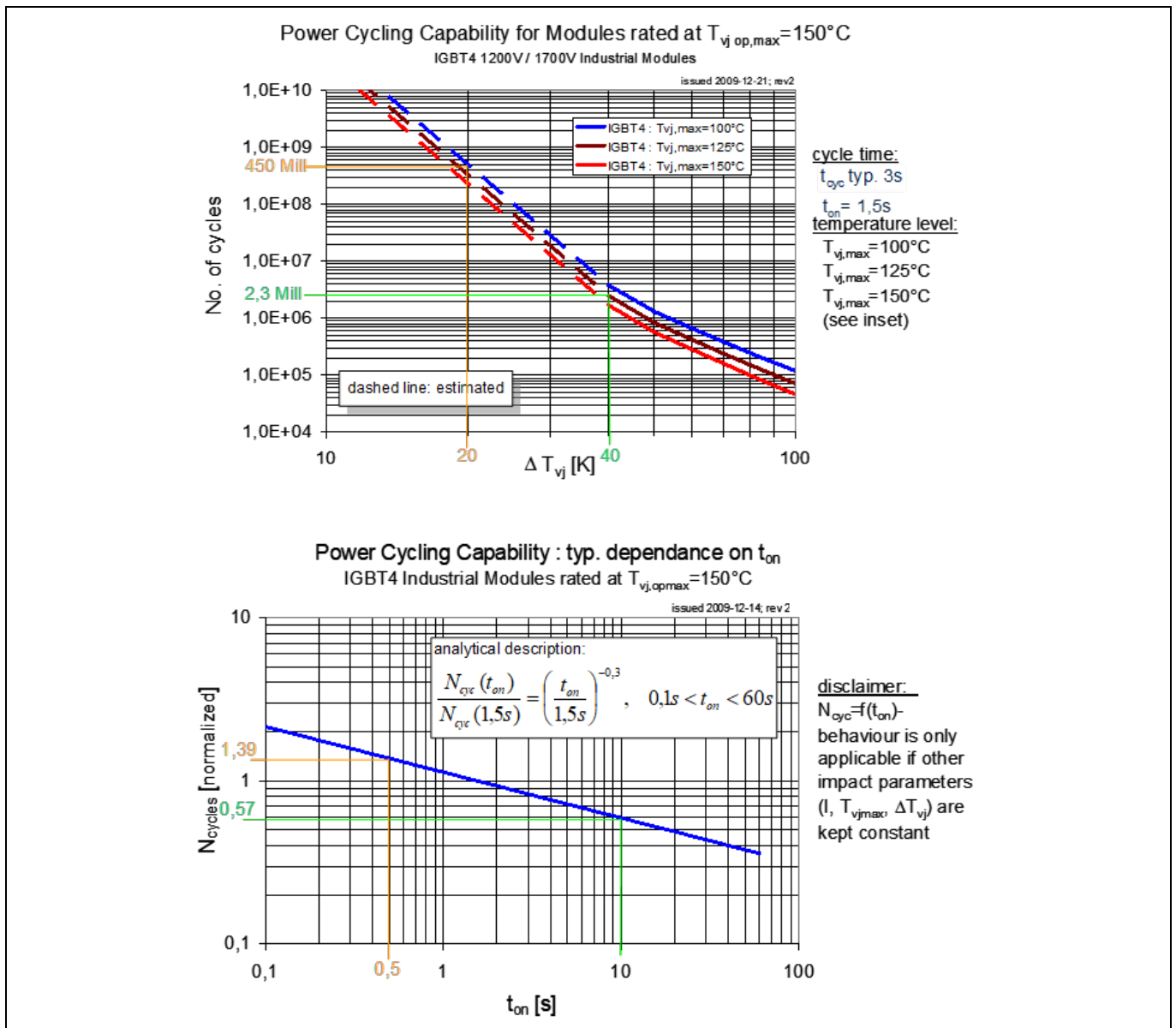


Figure 4 産業用パワーモジュール IGBT4 の信頼性仕様の一例

最初の図からわかるように、 $\Delta T_{vj} = 40 \text{ K}$ 、 $T_{vj,max} = 125^{\circ}\text{C}$ において 230 万サイクルが得られています。この値は、 $t_{on} = 10$ 秒のオン時間用に、2 番目の図の補正係数 0.57 を乗じる必要があります。この結果、最終

2 パワーサイクル

的にパワーサイクルの寿命は 130 万回となります。この使用条件で 60 秒のサイクルタイムで連続運転した場合、21,600 運転時間の寿命が期待できます。

例 2

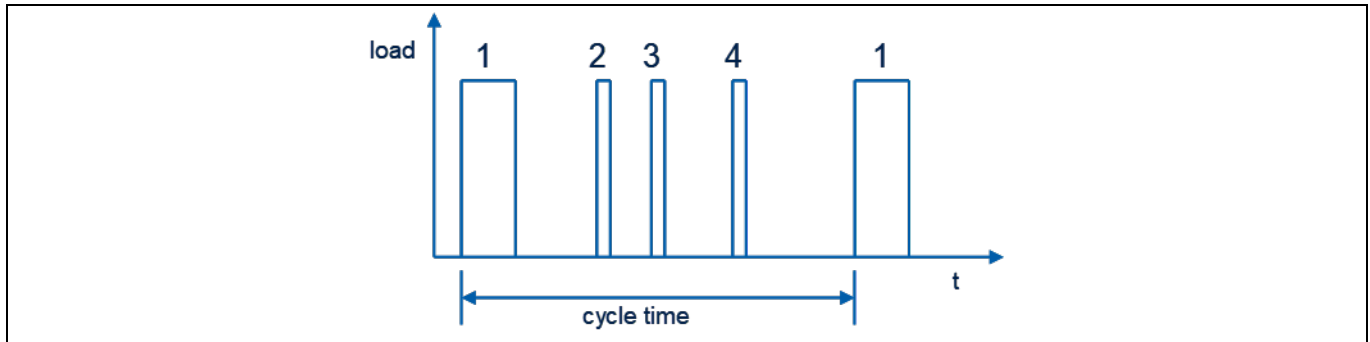


Figure 5 異なる長さのパルスを持つ連続負荷の例

前例同様に、産業用パワーモジュールを、間欠運転で負荷が 1 サイクルごとに変化するモータ駆動用インバータに使用した場合の例です。最初の 10 秒間のターンオンにより、IGBT の接合部温度は 85 °C から 125 °C に上昇します。次の 3 回のターンオン期間はそれぞれ 0.5 秒で、IGBT のジャンクション温度は 85 °C から 105 °C に上昇します。各負荷期間の間のオフ期間は 2 秒を超えます。この負荷列のサイクルタイムは 60 秒です。

この結果、最初のパルスで $\Delta T_{vj}=40\text{ K}$ 、1 サイクルあたり 3 回の $\Delta T_{vj}=20\text{ K}$ のジャンクション温度のスイングが発生することになります。Figure 4 上段に $\Delta T_{vj}=40\text{ K}$ 、 $T_{vjmax}=125^{\circ}\text{C}$ で 230 万サイクルを示します。ターンオン期間が $t_{on}=10$ 秒のため、この値に Figure 4 の下段の図から補正係数 0.57 を乗じる必要があります。この結果、パワーサイクル寿命は 130 万サイクルとなります。

ここまでは、例 1 と同じ結果です。しかし、さらに続く負荷も考慮しなければいけません。PC 図では $\Delta T_{vj}=20\text{ K}$ で 4.5 億サイクルとなっていますが、 $t_{on}=0.5$ 秒の負荷周期では、この値に補正係数 1.39 を乗じなければなりません。この結果、推定寿命は 6 億 2600 万パルスとなります。

1 回の負荷パルスごとに寿命が短くなります。1 サイクル 4 パルスのこの連続負荷の達成可能な総サイクル数は、以下の式で計算する必要があります。

$$N_{cycle} = \frac{1}{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \frac{1}{N_3} + \frac{1}{N_4}}$$

上記の値から、推定寿命は 129.4 万サイクルとなります。

$$N_{cycle} = \frac{1}{\frac{1}{1.3} + \frac{1}{626} + \frac{1}{626} + \frac{1}{626}} = 1.294\text{ mio cycles}$$

サイクルタイム 60 秒の連続運転では、このアプリケーションでは 21,560 運転時間の寿命が予想されます。全寿命時間の 99.4 % は最初の負荷の高い温度変動で消費され、その後の低い温度変動を伴う 3 つの負荷期間では 0.6 % しか消費されていないことがわかります。

2 パワーサイクル

例 3

50 A 定格の IGBT ディスクリート、IKQ50N120CH3 は、サーボモータ駆動用インバータで 25 A RMS を通電します。ターンオン時間 t_{on} は 1 秒、オフ時間 t_{off} は 9 秒、つまり 10 秒サイクルで動作しています。インバータ駆動動作中、IGBT のジャンクション温度は 85 °C から 125 °C に上昇します。これは、繰り返しジャンクション温度振幅 $\Delta T_{vj}=40\text{K}$ 、温度 $T_{vj,mean}=105\text{°C}$ を意味します。

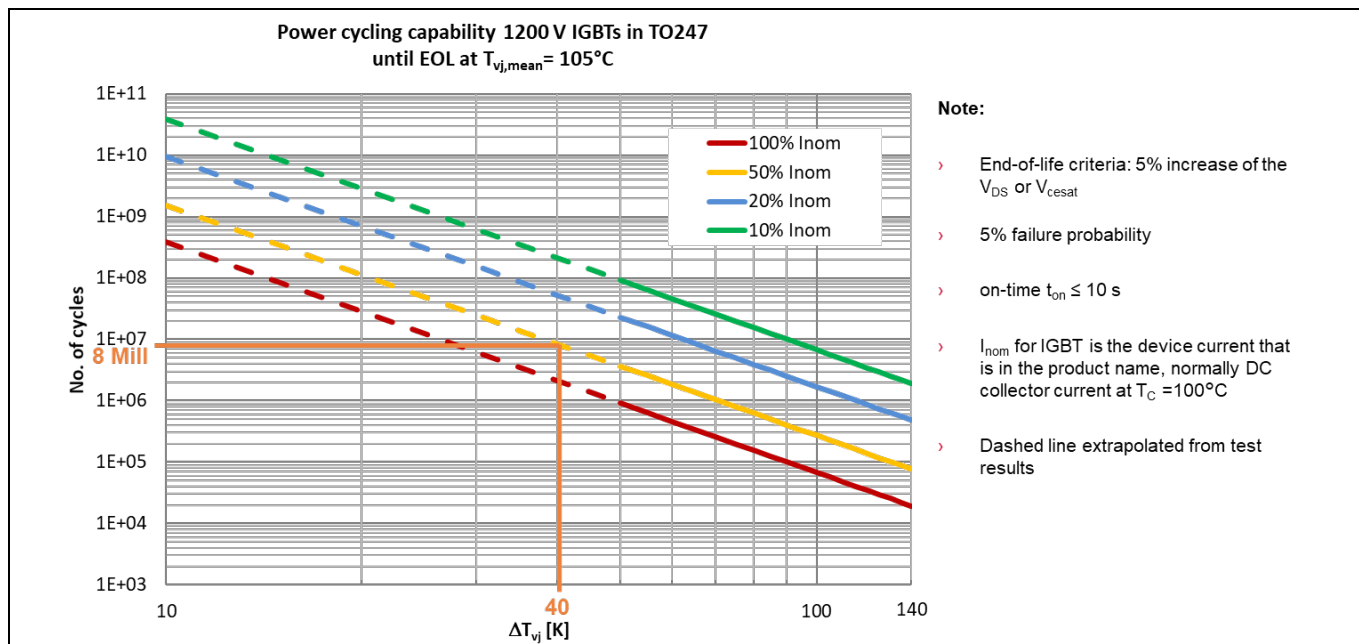


Figure 6 IGBT ディスクリアートのパワーサイクル耐量の例 (定格電流 I_{nom} を使用)

まず、IKQ50N120CH3 IGBT のデータシート [2] と I_{nom} の定義を確認すると、 $I_{nom} = 50\text{ A}$ であることがわかります。これまでの例と同じプロセスを経て、 I_{nom} の 50% のトレンドライン情報を用いると、パワーサイクル耐量は、 $\Delta T_{vj} = 40\text{ K}$ 、 $T_{vj,mean} = 105\text{°C}$ で 800 万サイクルとなります。

3 温度サイクル

3 温度サイクル

ベースプレートの材料には、機械的な取扱いが容易で熱伝導率が高い銅がよく使用されます。しかし、セラミック基板との熱膨張係数の不一致がデメリットとなります。材料の熱膨張係数が異なると、熱応力とともに、はんだに機械的なひずみが発生します。繰り返し大きな負荷がかかると、はんだクラックが発生し、チップとベースプレート間の熱インピーダンスの上昇を招きます。

AlSiC のような比較的硬い材料は、セラミック基板に対する熱膨張係数の偏差が小さいため、前述の問題を解決できます。さらに、バイメタル効果の減少により、ヒートシンクとの接触面のバランスも良くなります。最も優れた利点は、信頼性の向上にあります。 $\Delta T_c = 80\text{ K}$ での高加速サイクル試験において、銅ベースプレートとセラミック間のはんだ層には、数千サイクルで基板端部に深刻な剥離が発生しますが、AlSiC ベースプレート搭載モジュールでは数千サイクルをはるかに超えます。

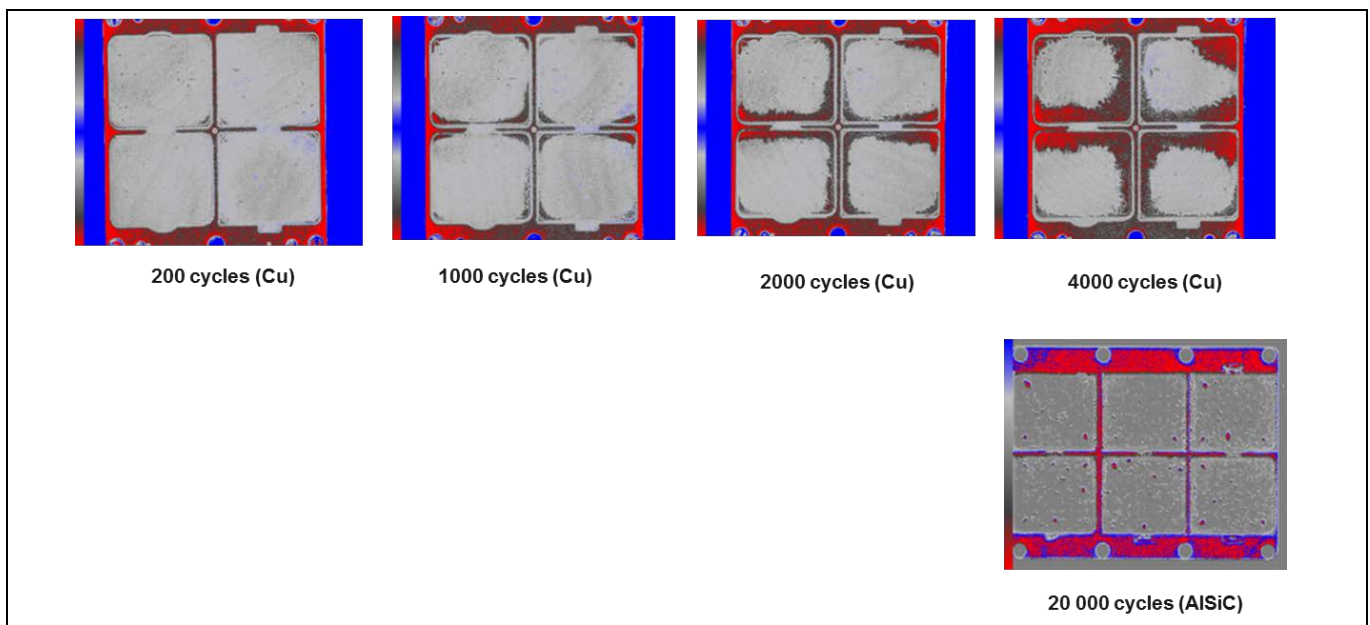


Figure 7 銅(上)と AlSiC(下)の温度サイクル比較: AlSiC ベースプレート使用により安定した熱界面を実現

温度サイクルは、数分間という比較的長い時間でケース温度を上下させます。主に DCB 基板とモジュールのベースプレート間のはんだ接合部にストレスがかかります。

Figure 7 は温度サイクル図の例で、上記のはんだ接合部の寿命期間中に達成可能な応力 (= 温度サイクル数) 対温度スイングの情報を提供します。最も高温と思われるチップ位置のケース温度は、ラボ条件下でのベースプレートでの測定、またはアプリケーション条件下でのシミュレーションのいずれかを尺度として使用します。

3 温度サイクル

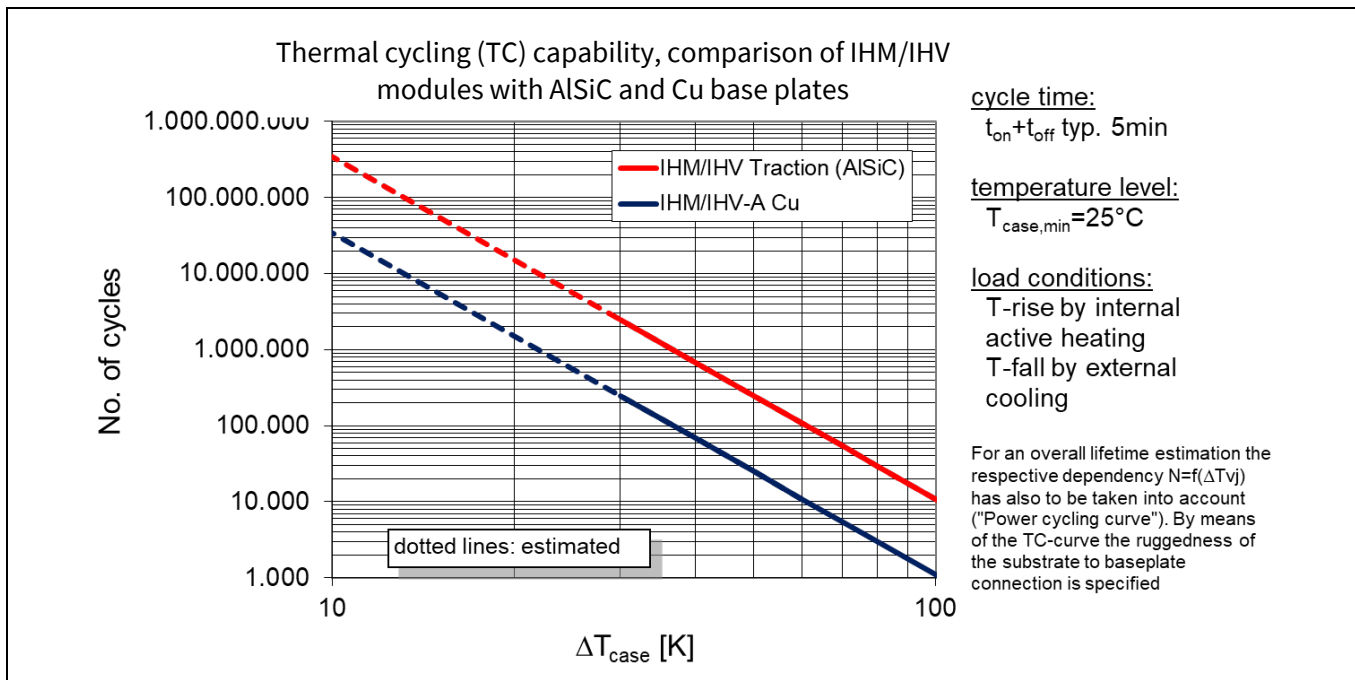


Figure 8 銅(Cu)ベースプレートを用いた産業用モジュールと AlSiC ベースプレートを用いたトラクションモジュールの温度サイクル耐量の例 (最低ケース温度固定でのケース温度上昇)

PrimePACK™や EconoPACK™など、他の Cu モジュールタイプに対応する図も、ご要望に応じて提供します。

$\Delta T_c = 80\text{ K}$ のようなケース温度変化を繰り返す場合、銅ベースプレートの IHM-A デバイスのパワーサイクル耐量は 3,000 サイクルですが、対応する AlSiC デバイスは 30,000 サイクルに指定されています。

こうした図を判断、比較するには、その基礎となる条件を知ることが重要です。

TC に関連すると考えられるサイクルタイムは、数分程度です。数秒程度の短い温度変動は、はんだ接合部の故障メカニズムに影響を与えないため無視できます。

IPM 製品では TC 曲線は適用されませんので、寿命計算には PC 曲線のみを使用する必要があります。

4 寿命計算用レインフローアルゴリズム

4 寿命計算用レインフローアルゴリズム

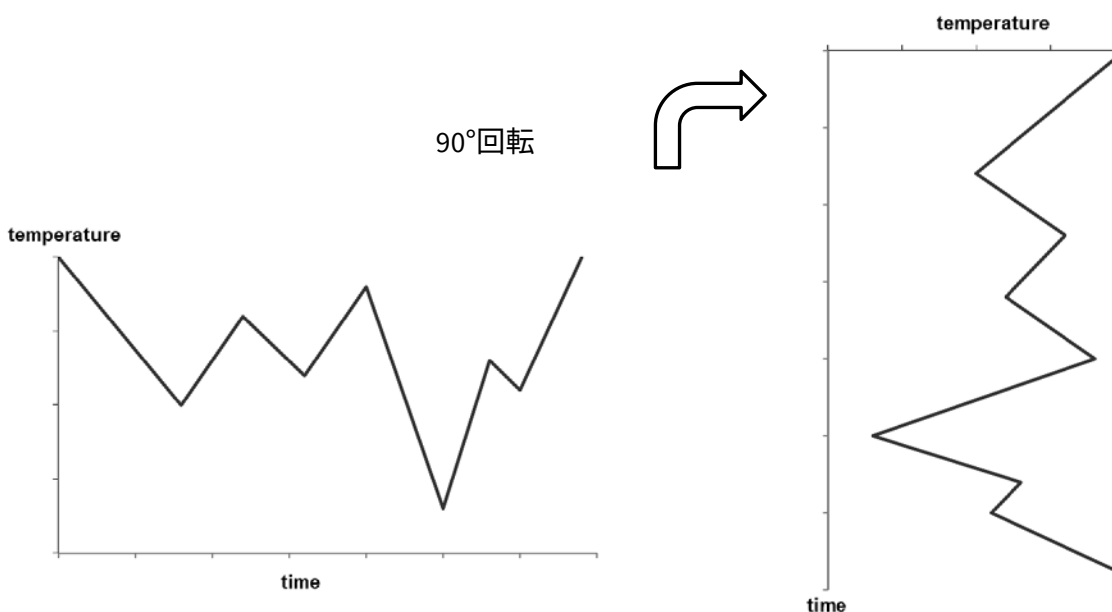
アプリケーションの期待寿命を判断するには、ジャンクション温度 $T_{vj}(t)$ の範囲で温度サイクルの回数を集計してパワーサイクルを確認するか、ケース温度 $T_c(t)$ の範囲で熱サイクルを確認する必要があります。

これには、インターネット上でインフィニオン IPOSIM ツールのロードサイクル計算機能を利用できます。

複雑で変化する温度プロファイルを持つ負荷サイクルでは、レインフローアルゴリズムを疲労データの解析に使用して、変化する応力のスペクトルを一連の単純なサイクル数に縮小させます。こうした数値を使用すると、前述のようにサイクル図から疲労寿命を簡単に計算できます。

レインフローアルゴリズムのアプローチは以下のとおりです: 時間履歴を引張のピークと圧縮の谷のシーケンスに縮小します。

それには、温度サイクルを時計回りに 90° 回転させます。



各ピークは、滴り落ちる水源としてイメージします。それぞれの最大値と最小値から「雨だれ」をスタートさせ、以下のように流れが終了したら「雨だれ」を停止させます。

- 最小値から開始して、前に通過したものと同じかそれよりも高い最大値に到達する。
- 最小値から開始して、開始点と同じかそれよりも低い最小値を通過する。
- 最大値から開始して、前に通過したものと等しいかそれよりも低い最小値に到達する。
- 最大値から開始して、開始点と同じかそれよりも高い最大値を通過する。
- 他のドロップの実行に到達する/以前のピークで開始したフローと合流する。
- 時刻歴の終点に達するか、"脱落"する。

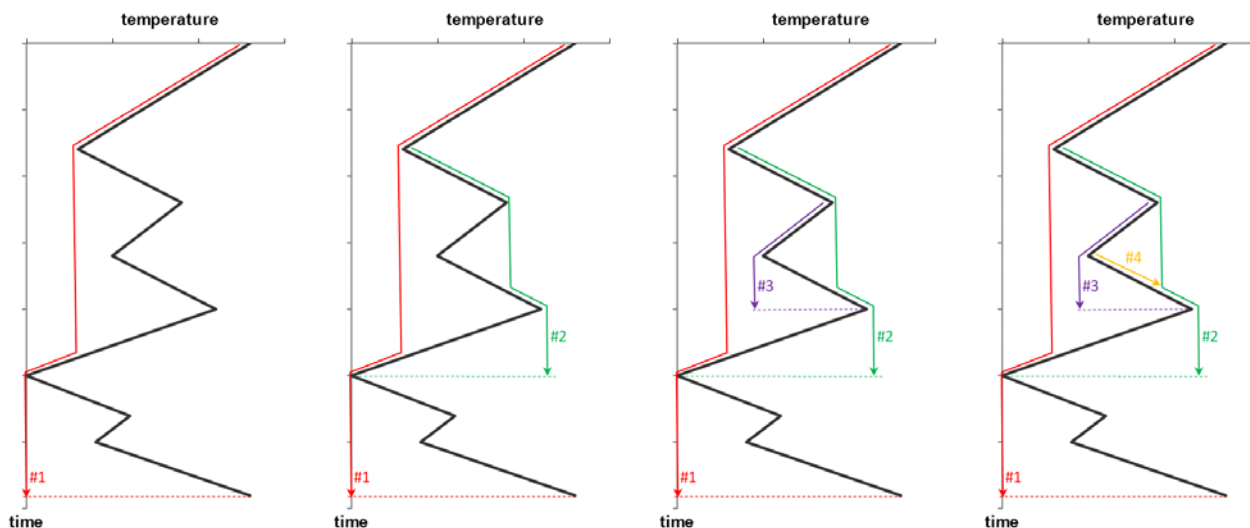
半周期の回数とその大きさ(始点と終点の差)を記録する。

パワーサイクルおよび温度サイクルについて

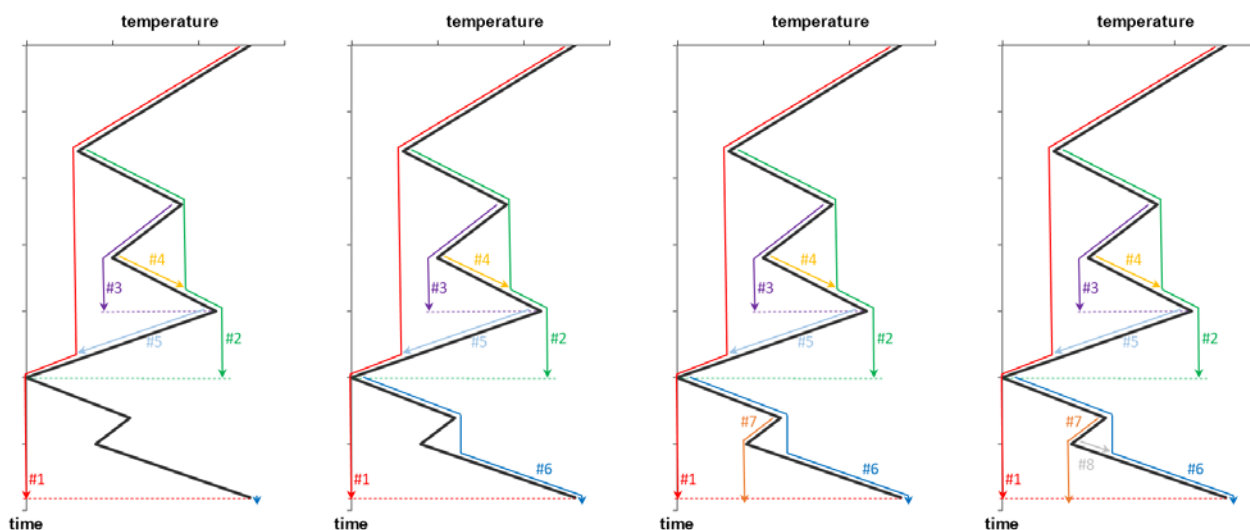
4 寿命計算用レインフローアルゴリズム

例 (簡略化のための t_{ON} 時間曲線は適用していません)

ここでは、レインフローアプローチにより、このサイクルを解析します。



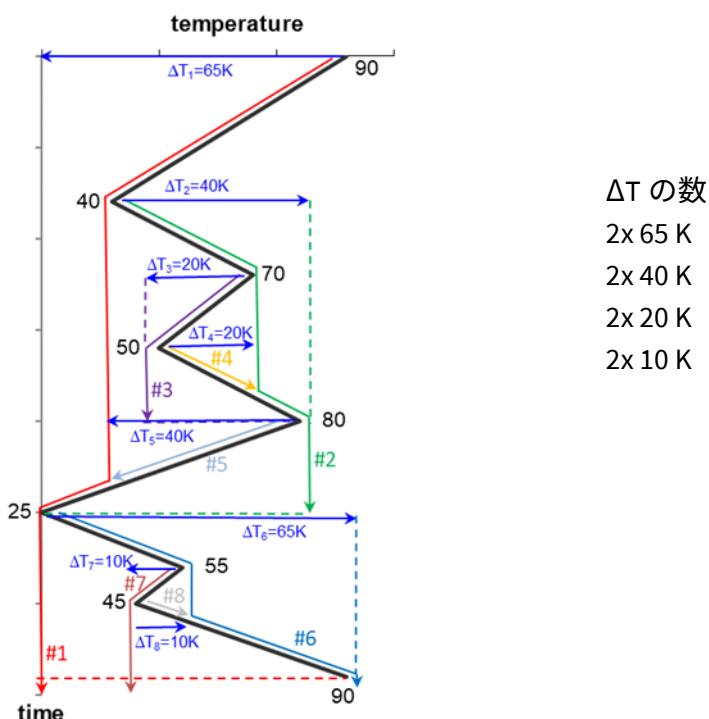
- #1 は前のものより低い最小値に到達
- #2 は前のものより高い最大値に到達
- #3 は開始点より高い最大値を通過
- #4 は雨だれ 2 に合流



- #5 は雨だれ 1 に合流
- #6 は"脱落"
- #7 は"脱落"
- #8 は雨だれ 6 に合流

今度は、同じ大きさの半周期を、逆の意味で、完全な周期の数を数えるために合計します。

4 寿命計算用レインフローアルゴリズム



レインフロー法では、常に同一の温度サイクルのペアが生成され、単純な方法よりも大きな温度変動が強調されます。

Miner の損傷則と呼ばれることもあるこの法則は、あるスペクトルに k 種類の応力があり、それぞれが n_i サイクル分の寄与をしているとし、 N_i を一定応力の破壊までのサイクル数とすると、 C を 1 として

$$\left(\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = C \right) \text{のときに破壊が発生する、というものです。}$$

実際には、上下の温度変化 ΔT の組ごとに、サイクル線図から寿命消費量を計算し、個々の結果を合計するのが通常です。

先に解析した負荷サイクルは、製品寿命の間に 25,000 回と想定されます。

Figure 7 の温度サイクル図では、寿命期間中に 65K で 75,000 サイクル、40K で 650,000 サイクルを想定しています。

その結果、65K サイクルでは $25,000/75,000=33.3\%$ 、40K サイクルでは $25,000/650,000=3.8\%$ の寿命が消費されることになります。

合計で、利用可能な寿命の 37% が調査した負荷サイクルによって消費されることになります。20K と 10K サイクルの寄与はごくわずかです。

5 参考資料

5 参考資料

- [1] AN2010-02 Use of Power Cycling Curves for IGBT4
- [2] IKQ50N120CH3 IGBT data sheet, https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IKQ50N120CH3-Data sheet-v02_04-EN.pdf?fileId=5546d4625bd71aa0015bd817b0150536
- [3] K.Mainka, M. Thoben, O.Schilling: “Lifetime calculation for power modules, application and theory of models and counting methods”. EPE 2011

改訂履歴

改訂履歴

版数	発行日	変更内容
2.1	2023-07-03	本版は英語版 AN2019-05 PC and TC Diagrams Revision 2.1 について、日本語に翻訳されたドキュメントです。

The cycling diagrams shown above are the result of an extrapolation based on Infineon's current tests and simulations, or on tests done in cooperation with external partners who are highly competent in the field of power cycling. Such information is provided as a guideline for the implementation of the Infineon products in question. Product-life calculations and estimates are to be verified by Infineon's customers before implementation of the relevant Infineon products, as actual operating conditions and environmental factors may differ from Infineon's assumptions. Therefore, Infineon is not responsible for the correctness of the lifetime calculations or estimates based on these cycling diagrams. Please note that the technical specifications of Infineon's products are conclusively determined in the respective Infineon data sheets. Please contact your sales partner for Infineon products if you require further information.

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2023-07-03

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2023 Infineon Technologies AG.

All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

AN2019-05_JA

重要事項

本手引書に記載された本製品の使用に関する手引きとして提供されるものであり、いかなる場合も、本製品における特定の機能性能や品質について保証するものではありません。本製品の使用前に、当該手引書の受領者は実際の使用環境の下であらゆる本製品の機能及びその他本手引書に記載された一切の技術的情報について確認する義務が有ります。インフィニオンテクノロジーズはここに当該手引書内で記される情報につき、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。