TRENCHSTOP™ 1200V IGBT7 T7 アプリケーションノート

About this document

Scope and purpose

可変速ドライブは、IGBT モジュールの最重要アプリケーションです。ドライブアプリケーションにおける大きな課題の１つは、モータ絶縁システム固有の制約により、スイッチング速度が制限されるという点です。そのため、代表的なターゲットである 5kV/µs の場合、スイッチングスロープ (dV/dt) は 2～10kV/µs の範囲に制限されます。また、モータに過負荷が要求されるのは多くの場合、短時間に限られます (スタート時の始動トルクなど)。インフィニオンの新製品 1200V TRENCHSTOP™ IGBT7 とエミッタ制御ダイオード EC7 技術はこれらの要件を満たします。IGBT7 は最新のマイクロパターントレンチ技術に基づくもので、IGBT4 と比較して導通損失を大幅に低減します。高レベルの制御性と同時に、175°Cでの短時間過負荷動作を実現します。このアプリケーションノートでは、1200V TRENCHSTOP™ IGBT7 T7 およびエミッタ制御ダイオード EC7 のチップおよびそれらの特性の詳細を紹介します。さらに、この新規デバイスを応用する技術者をサポートするために、いくつかのアプリケーション例を紹介します。

Intended audience

このアプリケーションノートは TRENCHSTOP™ IGBT7 1200V T7 の概要を知りたい読者を対象にします。

Table of contents

About this document **1**
Table of contents **1**
1 はじめに **3**
1.1 説明 3
1.2 IGBT7 概要 3
1.3 チップ技術 4
1.4 モジュール技術 6
2 TRENCHSTOP™ IGBT7 のアプリケーション **7**
2.1 スイッチング速度 dV/dt 最適化 7
2.1.1 モータ絶縁ストレス 7
2.1.2 dv_{CE}/dt の定義 7
2.1.3 dV/dt 制御性 8
2.1.4 最適な dV/dt 値を得られる R_G をいかに選択するか 9
2.1.5 追加ゲート容量の影響 9
2.1.6 より高いゲート充電電荷量 10
2.2 最大動作時ジャンクション温度 175°C 10
2.2.1 オペレーションジャンクション温度 175°C 10
2.2.2 より高い IGBT オペレーション温度でのシステム温度制限 11
2.2.2.1 フレーム温度限界 11
2.2.2.2 PCB 温度限界 11
2.2.2.3 ヒートシンク温度限界 11
2.3 短絡保護 12

Table of contents

2.3.1 短絡保護の定義 12
2.3.2 短絡時間ディレーティング曲線 12
2.4 ドライブアプリケーションにおける IGBT7 の寿命に関する考慮事項 13
3 TRENCHSTOP™ IGBT7 の利点 16
3.1 アプリケーション例 16
3.2 汎用ドライブ向けパワーモジュールの選択 18
3.3 インバータ試験 19
3.4 結論 19
4 参考資料 20
改訂履歴 21

1 はじめに

1.1 説明

以下の情報はデバイスの実装に向けた参考情報であり、デバイスの特定の機能性、条件、品質を説明、保証するものではありません。このアプリケーションノートは、TRENCHSTOP™ IGBT7 モジュールのデータシートに記載のパラメータおよび図について説明することを目的とします。パワーエレクトロニクスシステム設計者に向けた基本情報と、データシート記載情報に関する詳細な説明を提供します。

1.2 IGBT7 概要

インフィニオンの 1200V TRENCHSTOP™ IGBT7 は、損失を大幅に低減し、高レベルの制御性を実現する最新のマイクロパターントレンチ技術に基づきます。チップは産業用ドライブアプリケーション向けに最適化されており、より低い導通損失、より高い電力密度、よりソフトなスイッチング[1]を提供します。さらに、チップ動作温度を最高 175°Cまで許容したことで、電力密度を大幅に向上できました。**Figure 1** に示す主な利点は以下のとおりです。

- ON 電圧 $V_{CE(sat)}$および V_f の低減
- 過負荷時の $T_{vj,op}$=175°C
- dV/dt 制御性の向上
- dV/dt = 5kV/µs で最適化されたスイッチング損失
- 短絡耐量 8µs
- FWD (還流ダイオード) のソフトスイッチング特性の向上

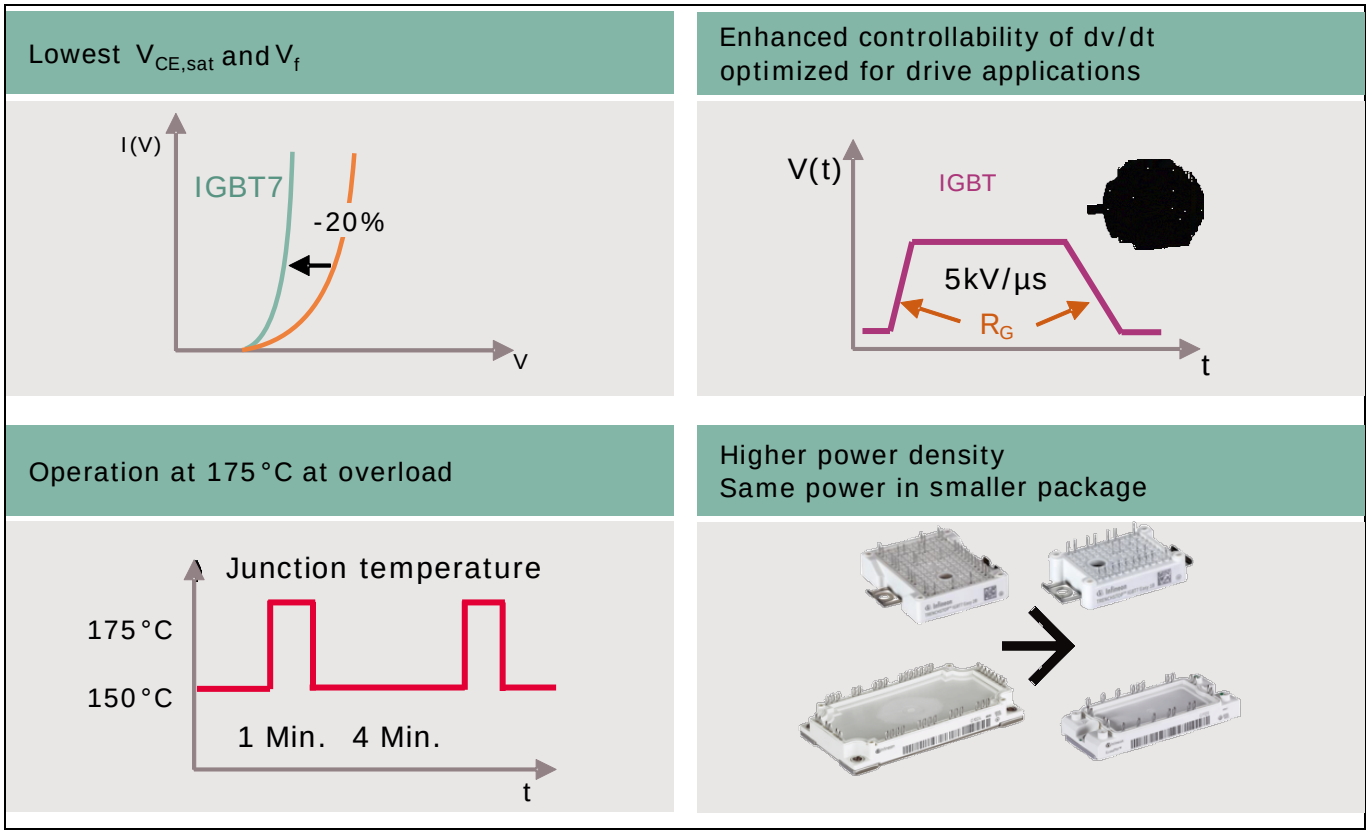


Figure 1 TRENCHSTOP™ IGBT7 の主な利点

1.3 チップ技術

この IGBT 世代 (IGBT7) には、マイクロパターントレンチ (MPT) に基づく IGBT 構造が使われます。このセル概念は、従来の正方形トレンチセルとは対照的に、サブミクロンのメサ[2]で分離した並列トレンチセルを使っているのが特長です。**Figure 2** は、MPT 構造のトレンチデザイン例を示す概略図です。より小さなセルピッチと、ゲート領域間に幅狭のメサを持つトレンチセルは、エミッタ電極付近の蓄積キャリアが著しく増大します。したがってドリフト領域の電導度が著しく大きくなり、これにより順方向電圧は大幅に低減します。

Figure 3 に、1200V IGBT7 T7 と旧世代インフィニオン IGBT チップの最終的なトレードオフ点を示します。前世代の IGBT4 と比較した場合、IGBT7 のターンオフ損失はほぼ同じである一方、導通損失は大幅に低減することがわかります。ON 電圧は、IGBT4 T4 チップに比べて 20%程低くなります。この特長は、最終的なアプリケーション、特に中程度のスイッチング周波数で動作する産業用ドライブアプリケーションにおいては大幅な損失低減につながります。

IGBT だけではなく、IGBT7 用 FWD であるエミッタ制御ダイオード EC7 も同様にドライブアプリケーションに合わせて設計されます。以前のエミッタ制御ダイオード EC4 よりも順方向電圧降下が 100mV 小さく、また、逆回復のソフトリカバリ特性[1]も向上します。

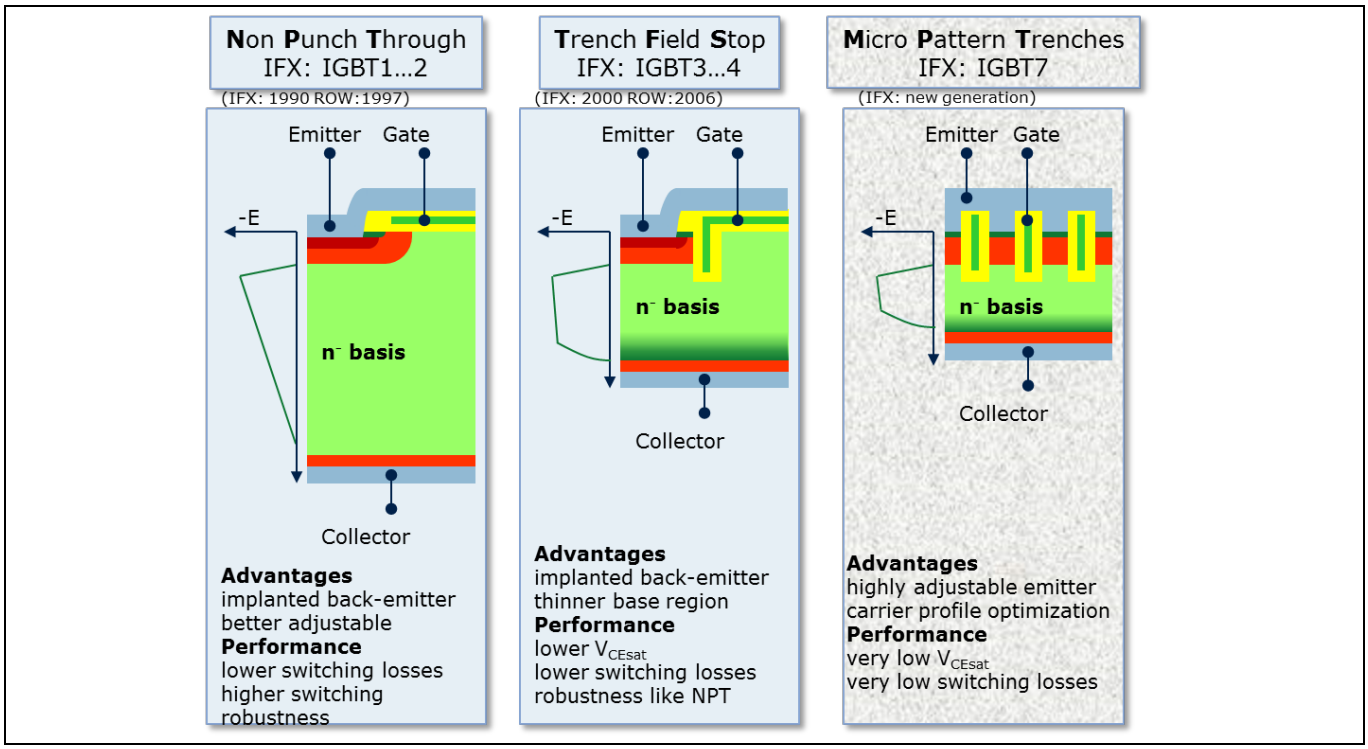


Figure 2 チップ技術概要

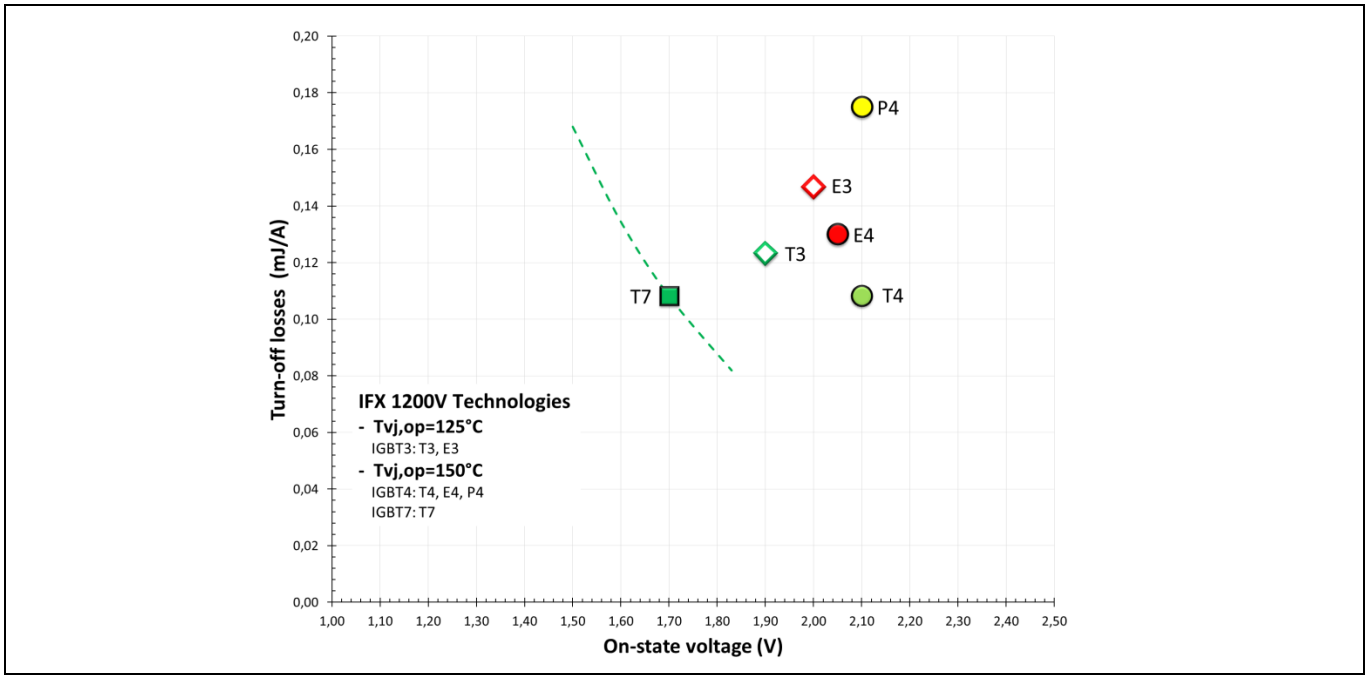


Figure 3　インフィニオン産業用ドライブ IGBT の各世代のトレードオフ図

1.4 モジュール技術

TRENCHSTOP™ IGBT7 1200V T7 は、既に定評ある Easy および Econo パッケージにて提供します。この新 IGBT 技術を使った初の製品ラインアップを Figure 4 に示します。Easy プラットフォームと Econo プラットフォームはどちらも、PIM および SixPACK 構成でより大きな電力密度を提供し、電力拡張を提供し、同じ電流定格でより小さなパッケージへの変更を可能にします。

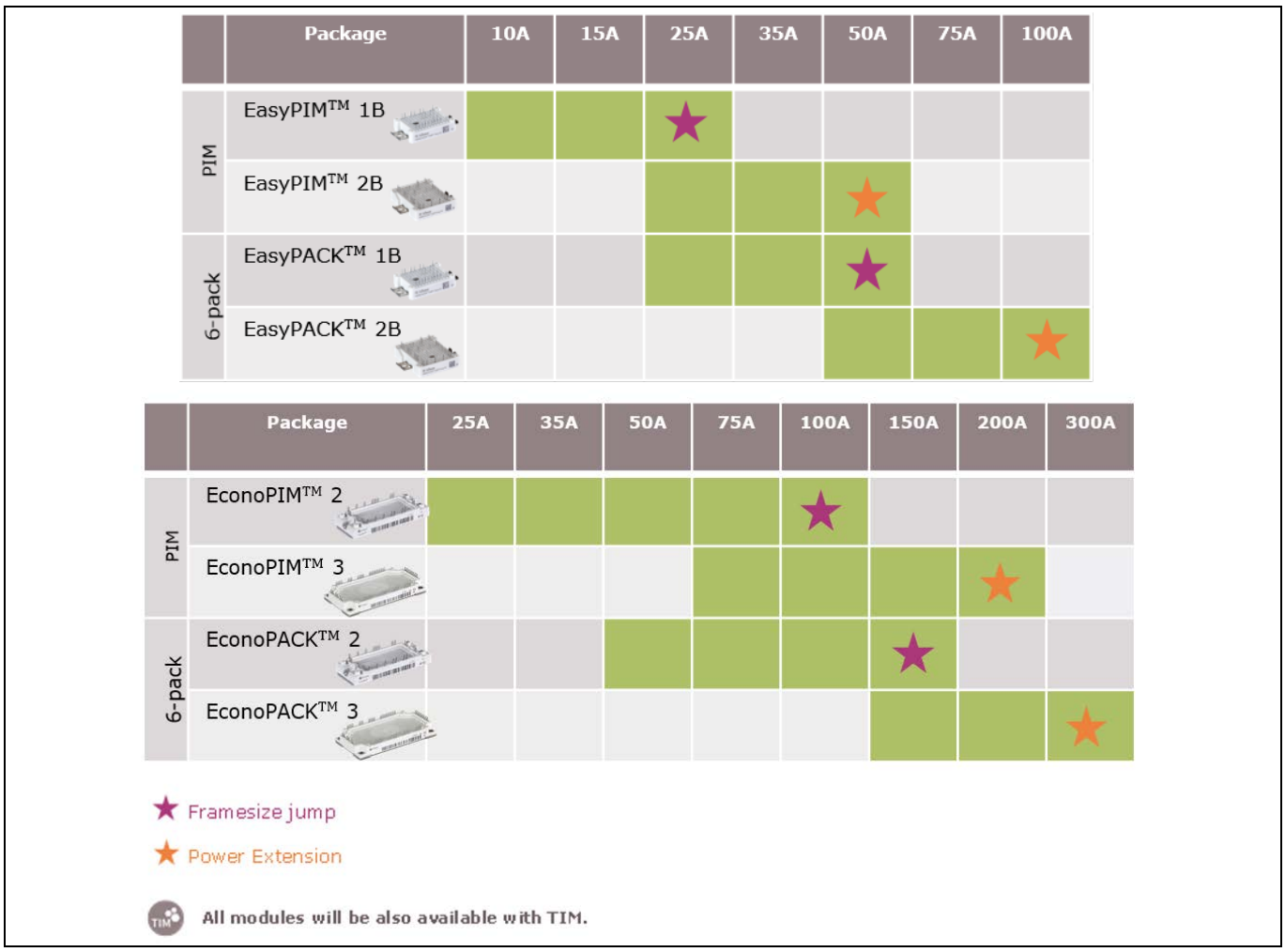


Figure 4 Easy および Econo パッケージの TRENCHSTOP™ IGBT7 製品ラインアップ

2 TRENCHSTOP™ IGBT7 のアプリケーション

ここでは、IGBT7 パワーモジュールのデザインインにおける主要事項と、IGBT4 との主な技術的相違点について説明します。説明は以下を含みます。

- 最適化されたスイッチング速度 dV/dt
- より高い最大オペレーションジャンクション温度 175°C
- ドライブアプリケーションに合わせて最適化した耐短絡耐量

インフィニオンの産業用パワーモジュールアプリケーションの一般的なガイダンスおよびデータシートの説明については[3]および[4]を参照してください。

2.1 スイッチング速度 dV/dt 最適化

2.1.1 モータ絶縁ストレス

インバータから一般的なパルス幅変調 (PWM) 電圧信号を供給されるモータにおいて、より高い電気ストレスにさらされるのは絶縁システムです。さらにロータからモータフレームへと寄生電流が流れることで、ベアリングに損傷が発生する可能性もあります。これらの現象は、PWM パルスの dV/dt を決める半導体スイッチングイベントのパルス立ち上り時間 (t_r) に起因するものです。長いモータケーブルを使うと、モータ端子にはより高いピーク電圧がかかります。モータ端子の電圧がインバータの出力電圧の 2 倍に到達するインバータ - モータ間のケーブル長を、「臨界ケーブル長 (critical cable length＝$l_{cable,crit}$) 」と呼びます。波長のケーブル内伝播速度を 150m/µs とし、パルス立ち上り時間 (t_r) を 0.1µs と想定した場合、臨界ケーブル長は $l_{cable,crit} = 0.1\ \mu s \cdot 0.5 \cdot 150\ m / \mu s = 7.5\ m$ となります[5]。

この結果発生する電圧スパイクと立ち上り時間によりアーク放電が発生し、最終的にはコイル絶縁不良となる可能性があります。そのためモータ製造者は 400 V モータの場合、通常はインバータ端子にて dV/dt 限界である約 5kV/µs を最悪の条件下でも超えないようにすることを推奨します[6]。

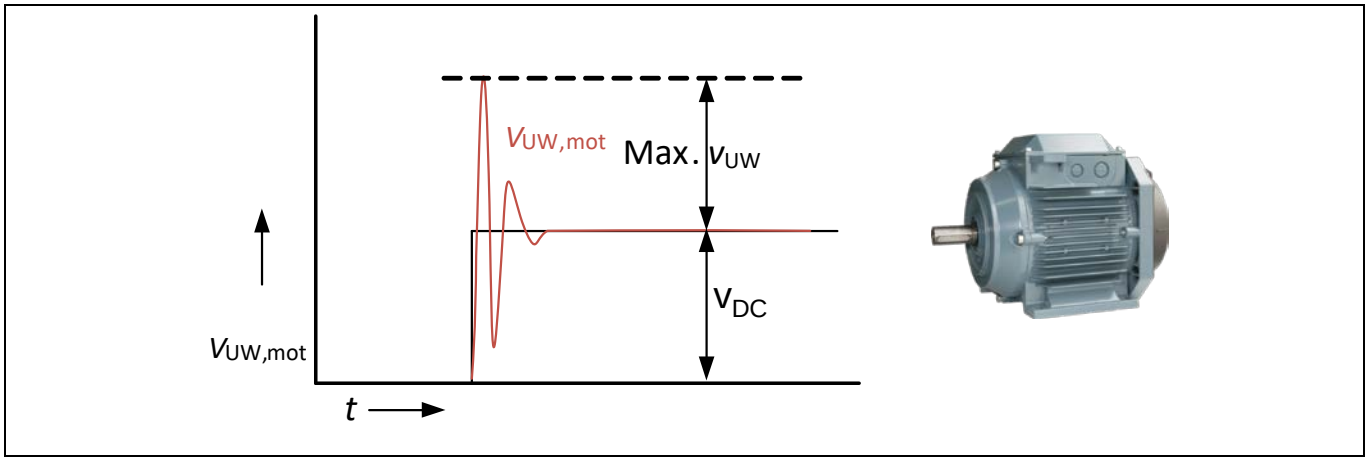


Figure 5 モータ端子における電圧波形例

2.1.2 dv_{CE}/dt の定義

トレンチ IGBT では、負荷電流とジャンクション温度が低いほど、ターンオン時のスイッチング速度 dV/dt は上がります。ゲート抵抗値を設定する際、スイッチング速度の調整では、ターンオンイベントがモジュール定格電流 I_{Cnom} の 10%、ジャンクション温度 25°C、規定バス電圧で発生するように考慮することが一般的です[6]。ターンオフ時のスイッチング速度は負荷電流を大きくすれば上がるため、ターンオフゲート抵抗値を定格電流の 100%で設定できます。

IGBT のスイッチング速度は $dV/dt=\Delta V_{CE}/\Delta t_r$ で定義されます。電圧と時間の差は、異なる二種類の方法で算出できます。最も一般的な方法は、**Figure 6a** に示すように DC リンク電圧の 90%および 10%の固定値を使います。もう一方の方法は、**Figure 6b** に示すように 20%の変動ウィンドウを決め、最大勾配を決めます。この方法は dV/dt_{max} と呼ばれ、最悪条件範囲決定手法だと言えます。この方法は EMI が問題となる場合にも有用です。

スイッチング波形はゲートドライバの浮遊インダクタンス、ゲート抵抗値、試験回路の寄生容量からも影響を受ける点に注意が必要です。

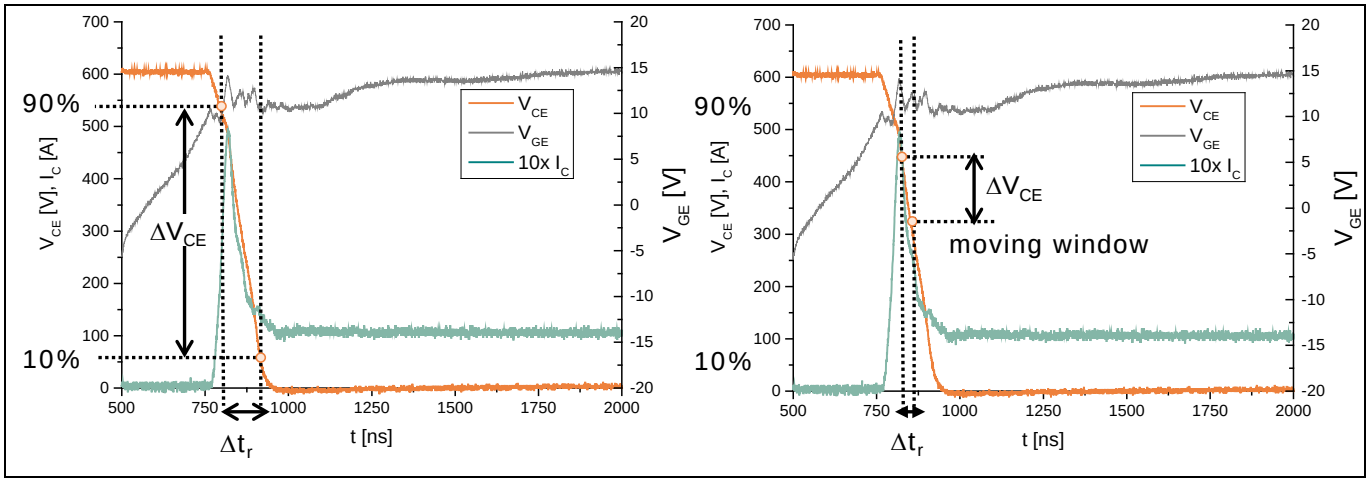


Figure 6　I_{Cnom}=10%、T_{vj}=25℃下の FS100R12W2T7 のターンオンスイッチング波形例、a) $dV/dt_{10\text{-}90}$ 法、b) dV/dt_{max} 法

2.1.3　dV/dt 制御性

産業用ドライブを設計する場合、電圧スロープ dV/dt をモータ絶縁要件 (**2.1.1** 章) に合わせて調整すること、または EMI の制約を守ることが大切です。この目的のために TRENCHSTOP™ IGBT7 は高い制御性を提供します。ここで言う制御性とは、ゲート抵抗値 (R_G) を調節することにより dV/dt を変化させるデバイスの能力に相当します。この能力は、総スイッチング損失 (E_{tot}) に影響を与えます**[1]**。

一例として、**Figure 7** に FS100R12W2T7 モジュールの IGBT の dV/dt をゲート抵抗 (R_G) に対してプロットしたものを示します。1.8Ωの規定 R_G 値では、ターンオフ $dV/dt_{10\text{-}90}$ は既に 5kV/µs を下回っており、ターンオン $dV/dt_{10\text{-}90}$ は 5kV/us のごく近くにあります。R_g を上げると、ターンオン、ターンオフ dV/dt はいずれも低下します。特にターンオン dV/dt は R_{gon} の 2kV/µs～8kV/µs 範囲で急激に低下します。これは、データシート上の規定 R_G により、5kV/µs 未満の dV/dt が得られることを意味します。

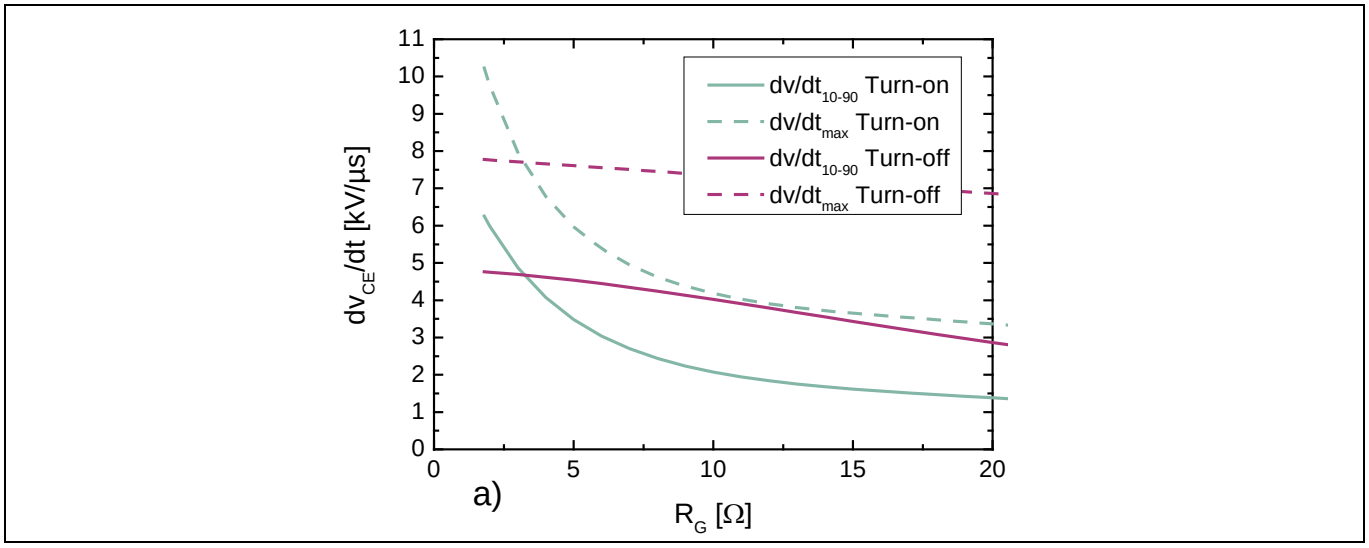


Figure 7　FS100R12W2T7 向け IGBT dV/dt vs ゲート抵抗値 R_G

2.1.4　最適な dV/dt 値を得られる R_G をいかに選択するか

TRENCHSTOP™ IGBT7 のデータシートには、10%、90%の dV/dt ($dV/dt_{10\text{-}90}$) 値しか記載されません。10%、90%で規定する $dV/dt_{10\text{-}90}$ は、モータ寿命に対する制限内に入っている必要があります。データシートの dV/dt グラフは、ゲート抵抗値 R_G に対するターンオン dV/dt およびターンオフ dV/dt 値として示されます。ターンオン dV/dt 曲線は、定格電流の 10%、室温で得られたもので、ターンオフ曲線は定格電流値および室温で得られたものです。dV/dt レベル、特にターンオン dV/dt は絶対値ではなく、最終的な試験環境に依存する点に注意が必要です。そのため、これは単なる参考値であり、最終的なアプリケーションにおいて検証する必要があります。

ターゲットとした dV/dt に対応する R_G はデータシートのグラフから得られます。より高い R_g で常により低い dV/dt が得られます。ターンオン損失 E_{on} は、ターンオンゲート抵抗 R_{gon} に応じて著しく増大します。より低いパワーロスを考慮すると、常により低い R_{gon} を選択することが推奨されます。IGBT7 を使用すれば、ターンオン dV/dt の高度な制御性と小さい R_{gon} を使用することで、低いターンオン損失が得られると同時にターンオン dV/dt をスペック内に維持することが可能です。ターンオフゲート抵抗 R_{goff} のターンオフ損失 E_{off} に対する影響はわずかしかありません。より高い R_{goff} を使うと、わずかなスイッチング損失の増大と共に dV/dt は低くなります。

2.1.5　追加ゲート容量の影響

IGBT のゲート・エミッタ間容量 (C_{GE}) およびゲート・コレクタ間容量 (C_{GC}) は、IGBT7 が dV/dt を完全に制御し、最適なスイッチング波形が得られるように最適化されます。また、寄生ターンオンを回避するため、C_{GE} は十分大きい値に設定されます。これによりさらなるコンデンサの追加の必要性はなくなります。しかしながら、マイナスバイアス無しで使う場合、寄生容量について確認する必要があります。最小 R_{gon}、最大 R_{goff} で寄生ターンオンが発生します。ゲート容量を追加すると、ゲート振動のリスクが高まる可能性があり、ゲートドライバ電源要件が厳しくなります。

2.1.6 より高いゲート充電電荷量

dV/dt の制御性を高め、寄生ターンオンを回避するために、IGBT7 のゲート充電電荷量 (Q_G) は前世代 IGBT4 よりも大きいです。電源と駆動回路が十分な電力定格を持つことを確認するために、駆動電力を確認する必要があります。必要な駆動パワー(P_{Gdr}) は以下の式で求められます。この式に用いる Q_G 値は、印加されるドライバ出力電圧に基づいて選択します[4]。

$$P_{Gdr} = Q_G \times (V_{GE(on)} - V_{GE(off)}) \times f_{sw}$$

2.2 最大動作時ジャンクション温度 175°C

2.2.1 オペレーションジャンクション温度 175°C

TRENCHSTOP™ IGBT7 T7 は過負荷条件下で T_{vjop}=175°C の動作が可能です[7]。これは短時間に限って高電流、高温での動作が要求されるドライブアプリケーションの一般的要件に合致します。

Figure 8 に IGBT7 のスイッチング条件下での許容オペレーションジャンクション温度の定義を示します。通常動作時の最高ジャンクション温度は 150°Cです。過負荷条件下では継続時間 t_1= 60 秒の間、最大ジャンクション温度は T_{vjop}=150°C 超～T_{vjop}=175°C まで許容されます。T_{vjop} が 150°Cを超える過負荷継続時間は、負荷サイクル時間 (T) の 20%以内でなければなりません (例えば T=300 秒毎に t_1=60 秒) 。最高 T_{vjop}=150°C と比べ、拡張したジャンクション温度性能を使うことで高電力密度だけではなく、より高いヒートシンク温度が可能となります。

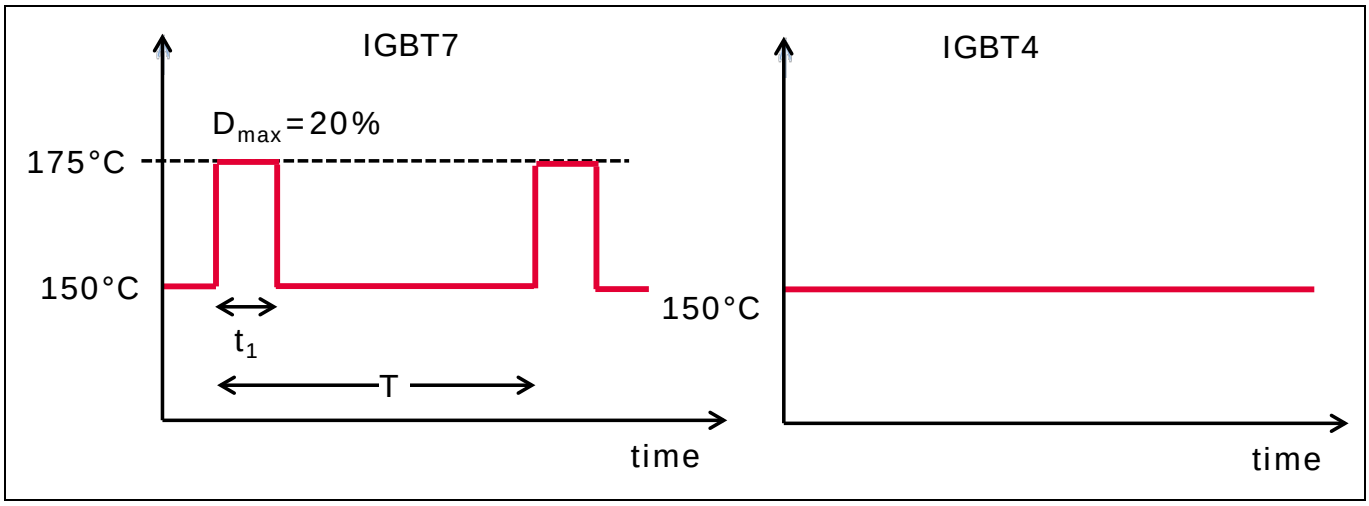


Figure 8 IGBT7 および IGBT4 向け最大オペレーションジャンクション温度の定義

Figure 8 に示す最大温度定義は、基本出力周波数から生じる温度リップルを含む最高 T_{vjop} 限界であることを認識しておく必要があります。Figure 9 に 2 つのジャンクション温度プロファイル例を示します。Figure 9a では t_1=50 秒間 T_{vjop} は 150°Cを超えています。T=300 秒サイクル中、残りの部分では 150°Cを下回ります。そのためデューティサイクルは 16.7%になります。最大オペレーションジャンクション温度の観点から、この状況は許容されます。もう一方の例を Figure 9b に示します。このケースでは、負荷プロファイルの周期全体にわたり、ジャンクション温度の最大部分が温度 150°Cを超えます。そのためこの動作は許容されません。

アプリケーションで合計で温度が 150°Cを超えることができる時間は、ヒートシンクの時定数によって異なります。さらに、境界条件で数百時間を超えるこの負荷プロファイルでの過度の運転は、モジュールハウジングに微量のシリコーンオイルをもたらす可能性があります。このタイプの負荷プロファイルを長時間使用する場合は、インフィニオンのサポートチャネルに連絡して、この仕様に関する詳細な分析を行ってください。

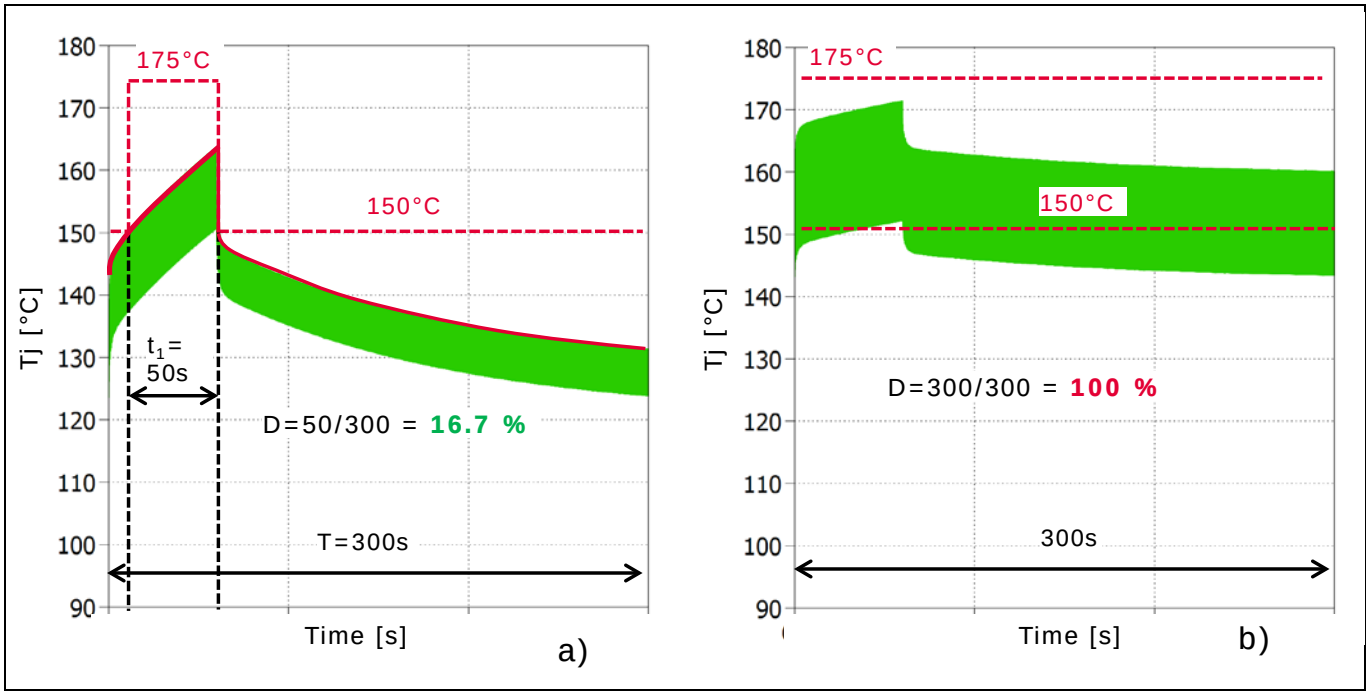


Figure 9　175℃のジャンクション温度動作が a)許容されるケース、b)許容されないケース

2.2.2　より高い IGBT オペレーション温度でのシステム温度制限

TRENCHSTOP™ IGBT7 は、IGBT4 よりも 25℃高いオペレーションジャンクション温度が許容されます。この特長により、IGBT7 を使うシステムはより高い電力密度とコンポーネント温度 (PCB、ヒートシンク、モジュールフレームなど) が可能です。下記のとおり、いくつかの制約に配慮が必要となります。

2.2.2.1　フレーム温度限界

RTI (相対温度指数) の値は、データシートに記載されます。この値はプラスチック材料の熱劣化に関わる特性パラメータです。動作時、モジュールフレーム温度はこの値を超えてはいけません。超えた場合、UL 規格に準拠しません。

2.2.2.2　PCB 温度限界

ジャンクション温度を上げると、システムの電力密度を高められます。IGBT7 および IGBT4 の PIM モジュールのピン配列は同じであるため、これは各ピンを流れる電流が大きくなることを意味します。電流の増大による PCB 温度の上昇については注意深く考慮する必要があります。PCB の最高許容温度は、PCB 材料によって異なります。PCB 温度は、銅層の厚膜化、トラック (配線) 幅の拡張、多層化、システム冷却機構により下げられます。

2.2.2.3　ヒートシンク温度限界

T ヒートシンク温度は、サーマルコンパウンドの許容動作温度を超えてはいけません。インフィニオンのサーマルコンパウンド TIM [8] を事前に塗布してあるモジュールの場合、その値は 150℃です。

2.3 短絡保護

IGBT7 の短絡時間 t_{sc} は温度 T_{vjop} =150°C で t_{sc}=8 µs と設定されます。IGBT4 の耐短絡時間 10µs からごくわずかに短くなりますが、IGBT7 の性能はさらに改善され、システムの電力損失の削減と熱特性の向上を実現します。

2.3.1 短絡保護の定義

データシートに記載の短絡時間 t_{sc} は、**Figure 10a** に示す上下短絡モードに基づきます。短絡ループインピーダンスはきわめて低く、短絡電流は瞬時に飽和レベルに至ります。短絡時間は短絡電流の立ち上りエッジの 10%時点から立ち下りエッジの 10%時点までを測定したものです。詳細は**[4]**を参照してください。

一般に短絡インピーダンスがより高くなるモータ相間短絡の場合、短絡電流はこのインピーダンスに応じてゆっくり上昇します。IGBT は、短絡電流が飽和レベルに達した場合に限り、まず飽和モードに入り、その後 DESAT 状態となり、V_{CE} 電圧が DC リンク電圧まで上昇します。このような短絡モードでは、短絡時間は DC リンク電圧の V_{CE} 不飽和立ち上りエッジ 20%時点から、短絡電流の立ち下りエッジの 10%時点までを測定します。短絡イベントの始まりで IGBT が DESAT 状態に至るまで V_{CE} 電圧は低いため、IGBT がより高い V_{CE} 電圧にさらされるまでチップにおける損失はさほど高くはありません。そのため、この初期期間は短絡時間には含まれません。

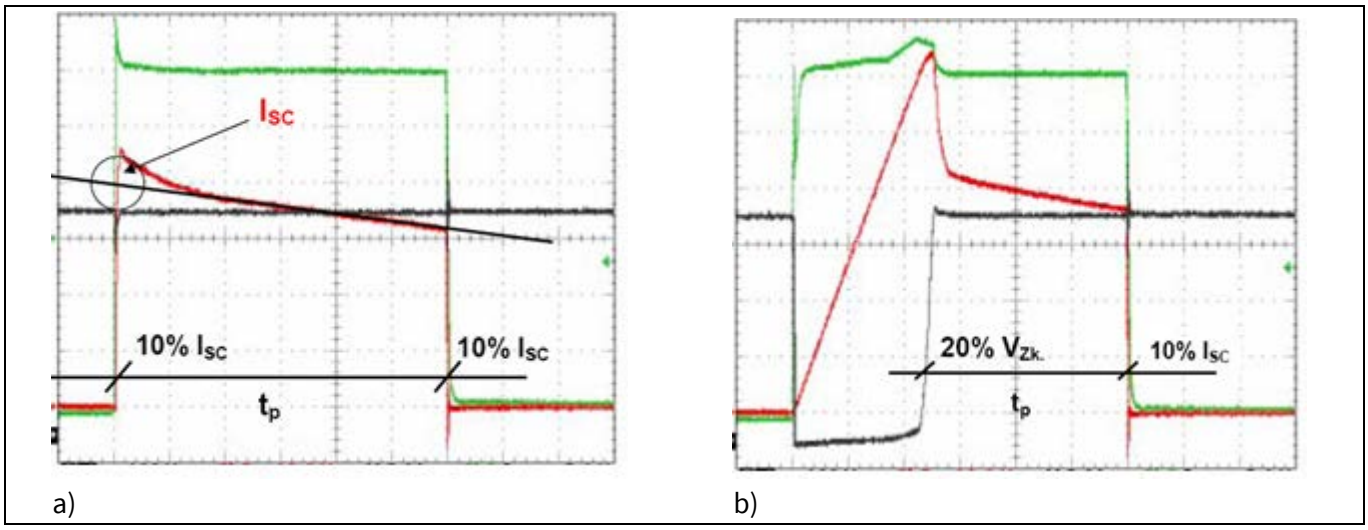


Figure 10 a) 短絡定義 A、b) 短絡定義 B

2.3.2 短絡時間ディレーティング曲線

短絡時間は、ゲート電圧、短絡時のジャンクション温度、DC リンク電圧といったアプリケーション条件に大きく依存します。ゲート電圧が高いほど IGBT 短絡電流レベルは高くなり、これにより耐短絡時間が短くなります。より高い短絡開始温度や DC リンク電圧もまた、短絡時間を短くする要因です。

1200V IGBT7 データシートでは、短絡時間は常に、DC リンク電圧 V_{CC} =800V、ゲート電圧 V_{GE}=15V、開始ジャンクション温度 T_{vj}=150°Cという短絡時条件下で示します。これらの値は 100%と考慮してください。アプリケーション条件がデータシートに記載の条件とは異なる場合、許容短絡時間も変わる場合があります。**Figure 11** は、DC リンク電圧、最高ジャンクション温度およびゲート電圧に対し、短絡時間をプロットしたものです。

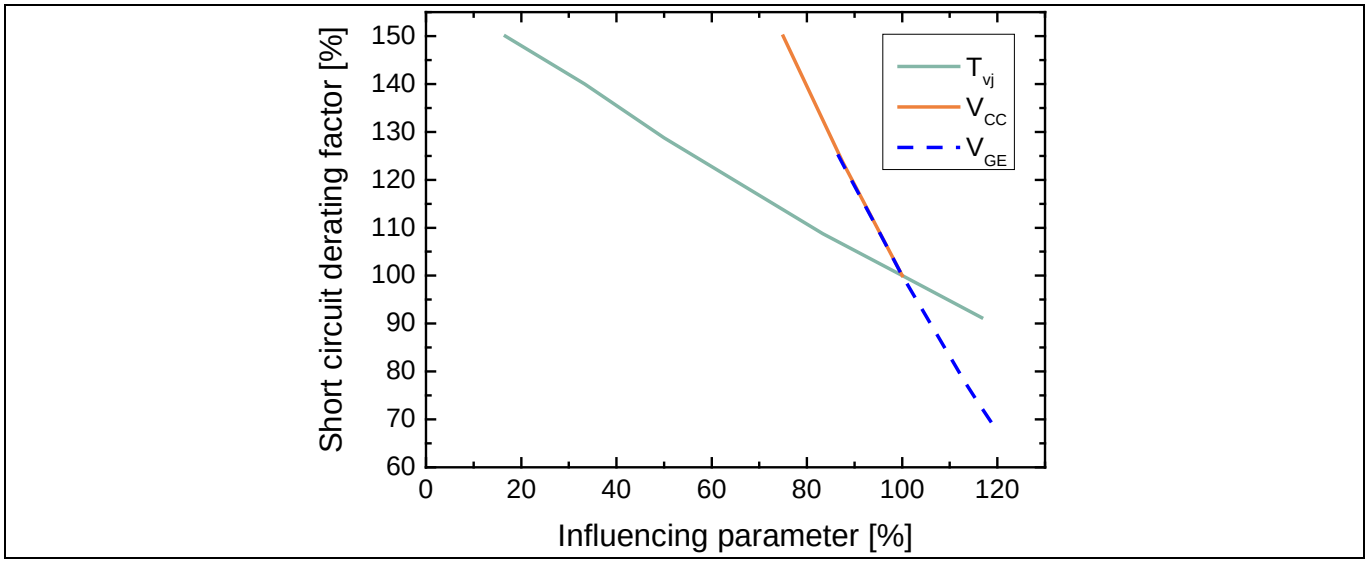


Figure 11　温度、DC リンクおよびゲート電圧に対する短絡ディレーティング係数

例えば実際のアプリケーションにおいて動作条件を以下のとおりとします。

- 開始ジャンクション温度: 140°C
- DC リンク電圧: 600V
- ゲート電圧: 14V

Figure 11 のグラフからは、以下のディレーティング係数を得られます。

A_1 (T_{vj} のディレーティング係数) = 1.05、

A_2 (V_{CC} のディレーティング係数) = 1.5、

A_3 (V_{GE} のディレーティング係数) = 1.1

このアプリケーション条件における最終的な耐短絡時間は、データシート値 t_{p_DS} にこれらのディレーティング係数を乗じることで算出されます。

$t_{p1} = t_{p_DS} \times A_1 \times A_2 \times A_3 = 8\ \mu s \times 1.05 \times 1.5 \times 1.1 = 13.86\ \mu s$

2.4　ドライブアプリケーションにおける IGBT7 の寿命に関する考慮事項

ドライブアプリケーションでは、常に過負荷状態があります。ファンとポンプは通常 110%の過負荷機能を必要としますが、自動化アプリケーションの場合、過負荷状態は通常より厳しく、通常 150%の過負荷機能を必要とします。さらに、サーボアプリケーションでは、200%の過負荷動作が一般的です。これらの過負荷状態は、モジュールの寿命を消費するチップ温度変動 (d_{Tcyc}) につながります。

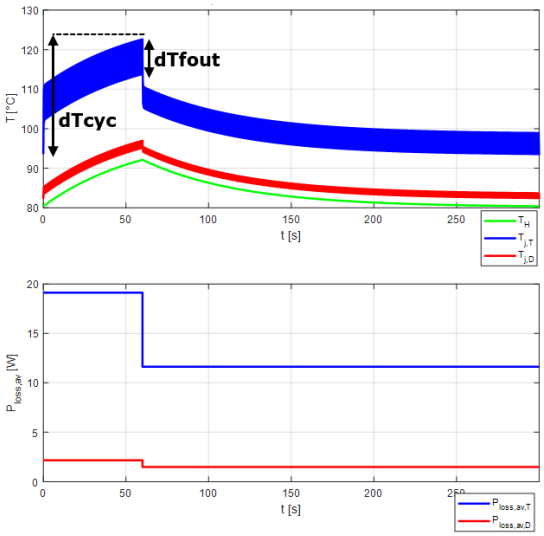
さらに、特定のインバータは、例えば始動段階の間など、低速動作を必要とします。出力周波数が低い (たとえば 10Hz 未満) と、そのような出力周波数リップル (d_{Tfout}) によってチップ温度が大きく変動する可能性があります。これは、チップ温度の時定数が数百ミリ秒であり、波の周期よりもはるかに短いという事実によるものです。

TRENCHSTOP™ IGBT7 のアプリケーション

ここでは、150%過負荷の 5.5kW インバータで FP25R12W2T7_B11 の寿命を 1 分間チェックするための 2 つのアプリケーション条件を検討します。条件 1 は、通常の高負荷のインバータ要件を表します。条件 2 は低速動作を反映します。

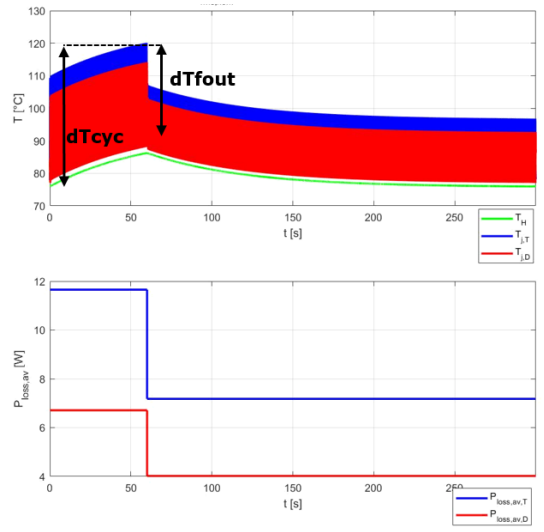
条件 1：高負荷の通常動作

- DC link voltage: V_{DC} = 600 V
- Output frequency: f_{out} = 50 Hz
- Switching frequency: f_{SW} = 3 kHz
- Modulation factor: m_i= 1
- Power factor: cos ϕ = 1
- Ambient temperature: T_A = 50°C
- Heatsink thermal resistance: R_{thha}: 2.3 K/W
- Heatsink time constant: τ_{thHA} = 60s



条件 2：高負荷の低速動作

- DC link voltage: V_{DC} = 600 V
- Output frequency: f_{out} = 2 Hz
- Switching frequency: f_{SW} = 2 kHz
- Modulation factor: m_i= 0.1
- Power factor: cos ϕ = 1
- Ambient temperature: T_A = 50°C
- Heatsink thermal resistance: R_{thha}: 2.3K/W
- Heatsink time constant: τ_{thHA} = 60s



IGBT7 のパワーサイクル曲線に基づいて、次のサイクル数を達成できます。

	条件 1	条件 2
IGBT チップ	920 万	238 千
ダイオードチップ	12 億	511 千

TRENCHSTOP™ IGBT7 のアプリケーション

明らかに分かる 1 つは、ドライブインバーターの動作では、IGBT の寿命がダイオードの寿命よりもはるかに重要であるということです。IGBT はパワーサイクリングの寿命の点でボトルネックですが、ダイオードチップのパワーサイクリングはインバータ動作モードでは重要ではありません。

パワーサイクリング機能は、最大ジャンクション温度と接合部温度の変動に強く関連するため、次の対策がモジュールの寿命を延ばすのに役立ちます。

- より効果的な冷却
- より低いスイッチング周波数
- より高い定格電流の IGBT モジュールの選択

IGBT7 の詳細なパワーサイクリング曲線については、最寄りの営業所にお問い合わせください。インフィニオンのパワーおよびサーマルサイクリング図の使用、およびレインフローカウントアルゴリズムを適用して適切なサイクルカウントを行う方法の詳細については、オンラインで入手可能な AN2019-05 を参照してください。

3 TRENCHSTOP™ IGBT7 の利点

3.1 アプリケーション例

ここでは、Easy プラットフォームと Econo プラットフォームの両方で小型パッケージ化の可能性を示すために、汎用ドライブ (GPD) の 2 つのアプリケーション例を示します。

IGBT7 テクノロジーの使用による電力密度の増加は、システムコストの削減につながります。これは、40%小さいパワーモジュール (この場合は Easy2B の代わりに Easy1B) を使用することで実現できます。

損失とジャンクション温度のシミュレーションは以下の **Table 1** の値に基づき、産業用通常負荷 (ND) および重負荷 (HD) を想定した過負荷状態で実施しました。

Table 1 アプリケーションパラメータ

パラメータ	記号	値
DC リンク電圧	U_{DC}	540 V
モータ出力 ($400V_{ac}$)	P_N	ND: 7.5 kW HD: 5.5 kW
継続動作時のモータ定格電流 (100%)	I_N	ND: 17.8 A HD: 13 A
力率	cos(ϕ)	0.85
変調指数	m_i	1
出力周波数	f_{out}	50 Hz
スイッチング周波数	f_{sw}	4000 Hz
最大スイッチングスロープ	$dv_{CE,on10-90}/dt$	5 kV/µs
熱抵抗：ヒートシンク―周囲 (1 スイッチあたり)	R_{thHA}	1.5 K/W (Easy2B IGBT4) 3.2 K/W (Easy1B IGBT7)
ヒートシンク熱時定数	τ_H	60 秒
周囲温度	T_A	40°C (ND), 50°C (HD)
負荷プロファイル		ND: 3 秒 150%•I_N ; 60 秒 110%•I_N HD: 3 秒 200%•I_N ; 60 秒 150%•I_N

ここに示す値はすべて説明用の参考値である点に注意してください。モータ規定電流 I_N は固定値ではなく、製造者、力率およびモータの極数により異なります[7]。誘導モータは本質的に規定トルクの約 2 倍の脱出トルクを提供します。そのため、最大過負荷電流 200%を選択します。

モジュールパラメータを **Table 2** に示します。アプリケーション要件に目を向けると、ゲート抵抗は **2.1.3** に記載のように dV/dt が 5kV/µs を超えないように選択されます。スイッチング損失は標準的なダブルパルス試験で測定しました。

Table 2 モジュールパラメータ

パラメータ	IGBT4	TRENCHSTOP™ IGBT7
パワーモジュール	 FP25R12W2T4 (EasyPIM™ 2B)	 FP25R12W1T7 (EasyPIM™ 1B)
$V_{CE,0}$ @ I_{nom}, 125°C	2.15 V	1.65 V

TRENCHSTOP™ IGBT7 の利点

パラメータ	IGBT4	TRENCHSTOP™ IGBT7
$E_{on}+E_{off}+E_{rec})/I_{Cnom}$ 600V, 125°C @5kV/µs	0.29 mJ/A	0.31 mJ/A
$T_{vjop,max}$	150°C	175°C

Figure 12 に、異なる負荷プロファイルのヒートシンク温度抵抗 R_{thHA} に対してシミュレーションしたジャンクション温度を示します。パラメータ R_{thHA} は、システムの冷却性能を示します。これは各スイッチ (IGBT+FWD) に１つの値を示します。

図からわかるように、IGBT4 の温度限界は 150°Cです。**Figure 12** によれば、標準負荷プロファイルには R_{thHA} = 1.72 K/W を選択しなければなりません。一方で最高ジャンクション温度が 175°Cである IGBT7 には、大幅に高い値、R_{thHA} = 3.25 K/W を選択できます。最高ジャンクション温度が上がったため、よりパフォーマンスの低いヒートシンクを使えます。

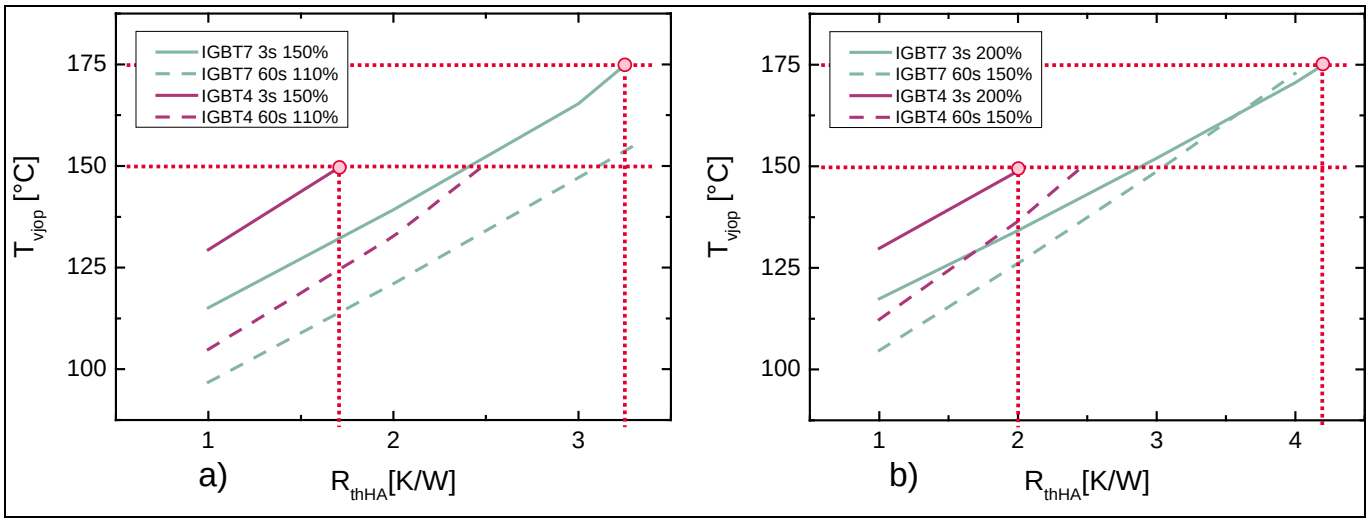


Figure 12　a) 標準負荷 (ND)、b) 重負荷 (HD)条件下での R_{thHA} に対するジャンクション温度

IGBT7 の導入により、Econo プラットフォームはこれまで以上に大きな電流定格にも対応します。インフィニオンのポートフォリオは、Econo3 パッケージのクラス最高のモジュール FP200R12N3T7 を使用して、最大 55kW、ヘビーデューティーで 45kW の電力定格を PIM トポロジでカバーします。このように、追加の整流ダイオードブリッジモジュールを節約することにより、システムコストと設計の複雑さが軽減されるか、同じ電力クラスを考慮すると、デバイスの寿命を大幅に延ばせます。FS300R12N3E7 の開発により、同じ方法でインバータ電力を増加させながら、同じフットプリントを維持できます。

Econo2 では、新しいフレームサイズのジャンプ、150A Six PACK および 100A PIM も利用できます。典型的な GPD アプリケーションの条件と冷却効果を考慮すると、後者の FP100R12N2T7 は高負荷アプリケーションで最大 22kW まで上昇できます (**Figure 13**)。50Hz 動作だけでなく、5Hz や 10Hz などの低出力周波数動作でも電流ディレーティングは必要ありません。

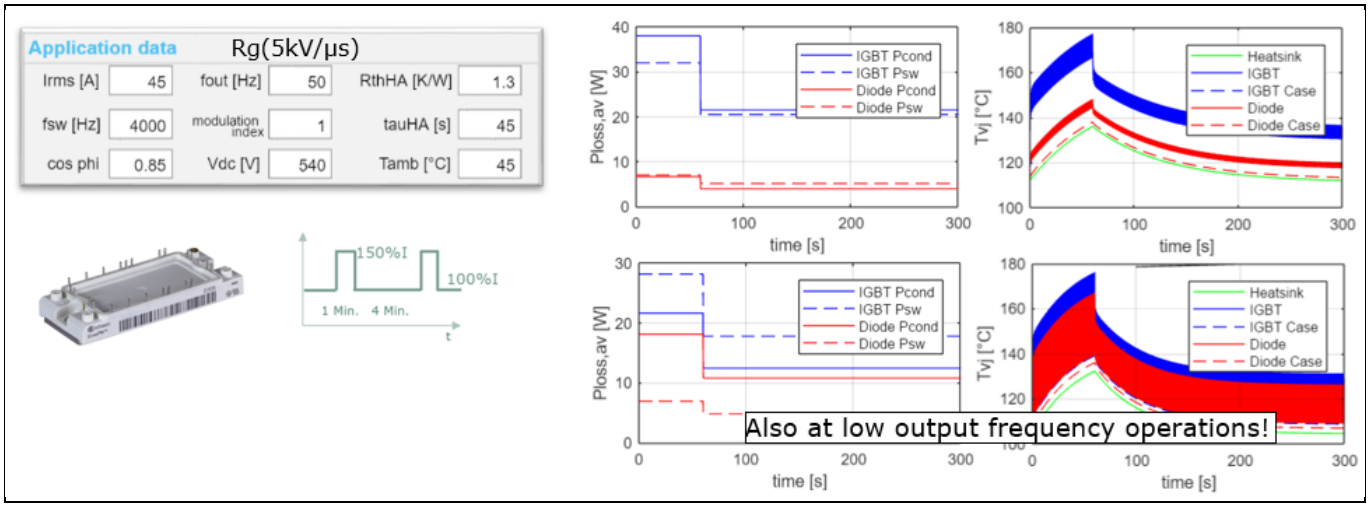


Figure 13　高負荷プロファイルでの電力損失と温度プロファイル

3.2　汎用ドライブ向けパワーモジュールの選択

産業用モータ出力クラスは IEC に基づいて標準化されます。**Table 3** は、特定の出力クラス用に EasyPIM™および EconoPIM™パワーモジュールを選択するための手引きです。通常、汎用ドライブは 2 重定格対応能力 (周波数コンバータが両負荷プロファイルに対応可能) を持ちます。重負荷は一般に標準負荷の 1 クラス下に格付けされます。もちろん、パワーモジュールの最終デザインは冷却条件など、多くのパラメータに依存するので、ユーザーが確認しなければなりません。同じ定格電流内で、より大きな電源モジュールまたはベースプレート付きモジュールの使用を評価して、動作温度を下げ、寿命を延ばす必要があります。インフィニオンの IPOSIM ツールは、要求される動作条件に適正なパワーモジュールを選択するためのサポートをユーザーに提供します[9]。

Table 3　モータ出力クラス (400V) と標準的な EasyPIM™および EconoPIM™パワーモジュール

モータ出力 ND [kW]	モータ出力 HD [kW]	パワーモジュール
0.55	0.37	FP10R12W1T7
0.75	0.55	FP10R12W1T7
1.1	0.75	FP10R12W1T7
1.5	1.1	FP10R12W1T7
2.2	1.5	FP10R12W1T7
3.0	2.2	FP10R12W1T7
4.0	3.0	FP15R12W1T7
5.5	4.0	FP15R12W1T7
7.5	5.5	FP25R12W1T7/ FP25R12W2T7/ FP25R12N2T7
11	7.5	FP35R12W2T7 / FP35R12N2T7
15	11	FP50R12W2T7 / FP50R12N2T7
18.5	15	FP75R12N2T7
22	18.5	FP100R12N2T7
30	22	FP100R12N2T7/ FP100R12N3T7
37	30	FP150R12N3T7

TRENCHSTOP™ IGBT7 の利点

モータ出力 ND [kW]	モータ出力 HD [kW]	パワーモジュール
45	37	FP150R12N3T7/FP200R12N3T7
55	45	FP200R12N3T7

3.3 インバータ試験

TRENCHSTOP™ IGBT7 デバイスがより高い効率を持つことを検証するために、実験用インバータを設けて試験を実施しました。この試験では、ほぼ同じチップ面積およびヒートシンクを使った IGBT4 および IBGT7 のパワーモジュールを使いました。ゲート抵抗値は、最悪条件下にて dV/dt 限界が 5kV/µs となるように選択します。

Figure 14 に、同じ出力電流および動作条件下におけるジャンクション温度を、IGBT4 モジュールおよび新たな TRENCHSTOP™ IGBT7 モジュールについて示します。IGBT4 は最高温度 150°Cに達する一方で、IGBT7 では、ジャンクション温度は 120°C付近にしか到達しません。このことから、IGBT7 の使用でパワー損失が大幅に低減したことがわかります。

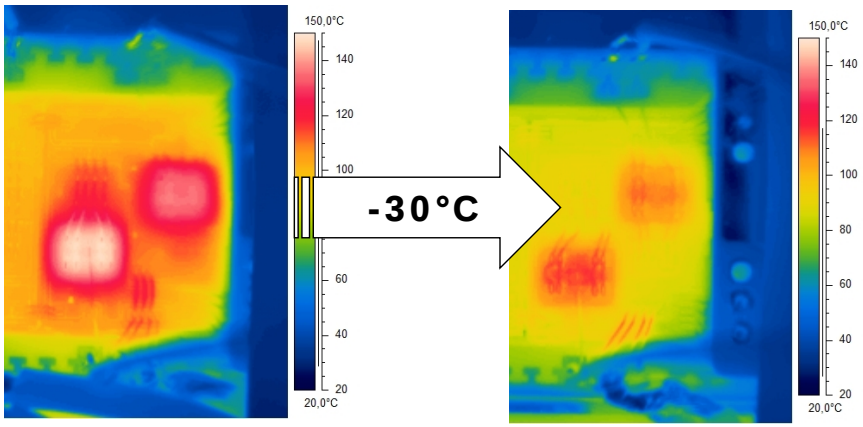


Figure 14 H ブリッジインバータ試験、同じ出力電流時のジャンクション温度の比較: a) IGBT4、b) IGBT7

3.4 結論

IGBT4 および IGBT7 を比較する検証試験においては、特に可変速ドライブアプリケーション向けに IGBT7 の利点が顕著に示されました。IGBT7 のシミュレーション結果は、IGBT4 よりも著しく高い電力密度への可能性を示しました。これは IGBT7 が同じ電流定格をより小さなパッケージで提供することが可能なためです。さらに、IGBT7 は、モータ絶縁システムの要件に合わせて dV/dt が 5kV/µs レベルとなる動作に合わせて最適化されます。

参考資料[1]に示すダイオードのソフトリカバリ特性の向上は、システムモータ駆動 EMI 性能にも潜在的に利益をもたらします。最後に、実験室で行った同じ条件下での試験結果は、IGBT7 の電力損失が IGBT4 よりも低いことを示すものでした。

結論として、IGBT7 は高効率と高電力密度を要件とする可変速ドライブにとって魅力的なソリューションであると言えます。

4 参考資料

[1] C. Müller, et al., “New 1200 V IGBT and Diode Technology with Improved Controllability for Superior Performance in Drives Application”, PCIM Europe, Nuremberg, Germany, 2018

[2] C. Jäger, et al, “A New Sub-Micron Trench Cell Concept in Ultrathin. Wafer Technology for Next Generation 1200 V IGBTs” ISPSD, Sapporo, Japan, 2017.

[3] Infineon Technologies AG 'IGBT Modules Technologies, Driver and Application' ISBN978-3-00-032076-7

[4] Infineon Technologies AG “AN2011-05 Industrial IGBT Modules Explanation of Technical Information”

[5] A. Binder: “Chapter 6: du/dt-effects in inverter-fed machines” Slides for lecture course “Motor Development for Electrical Drive Systems” TU Darmstadt, Germany, 2010(Document file: Folie_MD_6_english.pdf)

[6] K. Vogel, et al. “Improve the efficiency in AC-Drives: New semiconductor solutions and their challenges”, EEMODS 2016

[7] B. Sahan, et al., “Enhancing Power Density and Efficiency of Variable Speed Drives with 1200 V SiC T-MOSFETs”, PCIM Europe, Nuremberg, Germany, 2017

[8] S. Buschhorn, et al. “Impact of Load Profiles on Power Module Design - a Detailed Analysis Based on 7th Generation of IGBT and Diode Technology” PCIM Europe, Nuremberg, Germany, 2018

[9] Infineon Motor Handbook V1.01

[10] Infineon Technologies AG “AN 2012-07 Modules with preapplied thermal interface material”

[11] www.infineon/iposim

改訂履歴

Document version	Date of release	Description of changes
1.0	2018-06-18	初版
1.3	2021-07-05	これは英語版 AN2018-14 Revision 1.3 を翻訳した日本語版 Revision 1.3 です。

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

Edition 2021-07-05
Published by
Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2021 Infineon Technologies AG.
All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?
Email: erratum@infineon.com

Document reference
AppNote Number 2018-14

重要事項

本文書に記載された情報は、いかなる場合も、条件または特性の保証とみなされるものではありません（「品質の保証」）。本文に記された一切の事例、手引き、もしくは一般的価値、および／または本製品の用途に関する一切の情報に関し、インフィニオンテクノロジーズ（以下、「インフィニオン」）はここに、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。

さらに、本文書に記載された一切の情報は、お客様の用途におけるお客様の製品およびインフィニオン製品の一切の使用に関し、本文書に記載された義務ならびに一切の関連する法的要件、規範、および基準をお客様が遵守することを条件としています。

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。

本製品、技術、納品条件、および価格についての詳しい情報は、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（**www.infineon.com**）。

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。