

CoolSiC™ MOSFET ゲートドライブ電圧範囲ガイドライン

本書について

インフィニオンは、総合的な半導体の知識で電気システムの向上に努めています。こうした専門知識は、自社の製品および関連する使用条件での動作に加え、最新の半導体技術に関する知識を積極的に共有する姿勢に表れています。炭化ケイ素 (SiC) の MOSFET のような新技術は、特定の動作条件においてシリコン (Si) のスイッチとは異なる特性を示すため、こうした点が特に重要となります。さらに、この新技術の経験や関連文献は、長い間市場に出回っている他の技術のようには公開されていません。

SiC MOSFET で考慮すべき重要な点のひとつは、長時間動作時のゲートしきい値電圧 ($V_{GS(th)}$) のドリフトです。インフィニオンは、長期動作時に動的成分によって引き起こされるゲートしきい値電圧 ($V_{GS(th)}$) のドリフト現象を初めて発見し、ドリフトを最小限に抑えるための推奨動作ゲート電圧領域を初めて提示しました。

継続的な研究開発の結果、CoolSiC™ MOSFET M1H は $V_{GS(th)}$ の安定性が大幅に向上しています。動的コンポーネントによって引き起こされるドリフトは大幅に減少しています。

アプリケーション ノートのこのリビジョンでは、CoolSiC™ MOSFET のゲート電圧に関する最新のガイドラインを提供します。

適用範囲と目的

- スイッチング動作時の $V_{GS(th)}$ の長期挙動を説明
- アプリケーションへの影響を議論
- アプリケーションにおけるユーザーへの主な影響として、オン抵抗 $R_{DS(on)}$ の増加を制限するための設計ガイドラインを提供

目次

目次

本書について	1
目次	2
1 $V_{GS(th)}$ ドリフト現象	3
2 アプリケーションへの影響	5
3 ゲートドライブ電圧ガイドライン	7
3.1 1200 V デバイスのガイドライン	7
3.1.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価	9
3.2 650 V デバイスのガイドライン	11
3.2.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価	11
3.3 750 V デバイスのガイドライン	12
3.3.1 ミッションプロファイル終了時の最悪の場合の $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価	12
3.4 2000 V デバイスのガイドライン	15
3.4.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価	15
3.5 ゲート電圧のオーバーシュートとアンダーシュートの定義	16
4 参考資料	18
改訂履歴	19
免責事項	20

1 V_{GS(th)}ドリフト現象

1 V_{GS(th)}ドリフト現象

ワイドバンドギャップ材料である SiC の性質と、半導体と誘電体の界面の性質がシリコン材料とは異なることから、しきい値電圧の変化やバイアス温度不安定性 (BTI) には特性があり、その理解と評価が必要です。このような違いを理解し、半導体材料との関係を説明し、アプリケーションとの関連性を明らかにし、仕様やシステム設計に関する影響を定義するために、広範な調査が行われました。

静的なゲートバイアスストレスに関しては、Si デバイスのしきい値電圧としきい値電圧ドリフトを評価するために一般的に使用されている標準的なテスト手順を、SiC MOSFET にも適用する必要があります。これらの知見に基づき、SiC MOSFET の BTI 評価向けの新しいストレス測定手順を開発しました。この手順により、可逆的なしきい値電圧ヒステリシスと、より恒久的なしきい値電圧ドリフト (BTI) を区別することができます。この測定技術を用いて、最近発売された SiC MOSFET 部品の V_{GS(th)} 安定性を評価する詳細な研究を行いました。特に、負の BTI が非常に低く、異なるデバイス間のドリフト変動が非常に小さいことから、インフィニオンの 1200V CoolSiC™ MOSFET が全体的な V_{GS(th)} 安定性に優れていることが実証されています [1]。

SiC の MOSFET デバイスのしきい値電圧は、静的ストレスによるドリフト以外にも、スイッチングイベント (デバイスのターンオンおよびターンオフ) によって引き起こされる追加のドリフトがあります。この追加成分は、長期間のスイッチングテストでのみ確認できます。現在のデータは、この現象はゲート酸化膜のダイナミクスに関連していることを示しています。この効果は、現在の SiC MOSFET 技術の一般的な特長であり、関連する社内研究でも示されています。これは、インフィニオンの CoolSiC™ MOSFET デバイスに限定されるものではありません。

インフィニオンの CoolSiC™ MOSFET について、さまざまなスイッチング条件で長期試験を行い、この現象の特性を調べました。このデータによると、スイッチングストレスは、時間の経過とともに緩やかな V_{GS(th)} の上昇をもたらします。しかし、どのパラメータを選択しても、スイッチングに起因する V_{GS(th)} ドリフトが負になることは一度もありませんでした。V_{GS(th)} ドリフトの値は、同じ動作条件でストレスを受けた異なるデバイス間で類似しています。しきい値電圧 V_{GS(th)} の増加により、MOS チャネルのオーバードライブ (V_{GS(on)} - V_{GS(th)}) が減少するため、チャネル抵抗 (R_{ch}) の増加が観察されます。この現象は式 [1] で説明されます。ここで、L はチャネルの長さ、W はチャネルの幅、μ_n は自由電子移動度、C_{ox} はゲート酸化膜容量、V_{GS(on)} は正のオン状態ゲート電圧、および V_{GS(th)} はデバイスのしきい値電圧です [2]。

$$R_{ch} \approx \frac{L}{\mu_n \cdot C_{ox} \cdot W \cdot (V_{GS(on)} - V_{GS(th)})} \quad [1]$$

合計 R_{DS(on)} 抵抗は、単一の抵抗の合計によって決まります。これらはすなわち、チャネル抵抗 (R_{ch})、接合型電界効果トランジスタの抵抗 (R_{JFET})、ドリフト領域のエピタキシャル層抵抗 (R_{epi})、および高濃度ドーパ SiC 基板の抵抗 (R_{Sub}) です。合計 R_{DS(on)} のチェーン全体は式 [2] で説明されます。

したがって、V_{GS(th)} の増加によりチャネル抵抗がわずかに増加し、その後 R_{DS(on)} がわずかに増加し、時間の経過とともにオン状態損失がわずかに増加します。

$$R_{DS(on)} = R_{ch} + R_{JFET} + R_{epi} + R_{Sub} \quad [2]$$

1 $V_{GS(th)}$ ドリフト現象

$V_{GS(th)}$ の増加が $R_{DS(on)}$ に与える顕著な影響は、デバイスの電圧クラスによって異なります。電圧クラスが高くなるほど、エピタキシャル層抵抗 (R_{epi}) の寄与が顕著になります。その結果、650 V などのより小さな電圧クラスと比較して、 R_{epi} がより支配的となり、合計 $R_{DS(on)}$ に大きく寄与します。その結果、 $V_{GS(th)}$ のドリフトが $R_{DS(on)}$ に与える影響は次のように結論付けることができます。より高い電圧クラスではそれほど深刻ではありません。

なお、特に機器の基本的な機能に影響はありません。

- ブロッキング機能
- デバイスの信頼性レベル (宇宙放射線耐性、耐湿性など)
- $V_{GS(th)}$ ドリフトがスイッチング損失全体に与える影響はごくわずか

スイッチングによる $V_{GS(th)}$ ドリフトに影響する主なパラメータは次のとおりです。

- スwitching 周波数と総操作時間に変換されるスイッチング イベント数
- ゲートドライブ電圧、主に $V_{GS(off)}$
- チップ直下のゲートソース端子のオーバーシュートとアンダーシュート

次の動作パラメータは、スイッチングによる $V_{GS(th)}$ のドリフトにほとんど影響を与えない、または、無視できる程度であることがわかりました。

- 接合部温度
- スwitching スロープ (dV/dt 、 dI/dt)
- ドレイン-ソース電圧
- ドレイン電流

2 アプリケーションへの影響

2 アプリケーションへの影響

$V_{GS(th)}$ ドリフトによる主な影響は、アプリケーションで選択された V_{GS} における $R_{DS(on)}$ の長期的な増加です。一般的に、 $R_{DS(on)}$ の増加は導通損失を増加させ、時間の経過とともにジャンクション温度 T_{vj} を上昇させます。パワーサイクルを評価する際には、時間の経過に伴う T_{vj} の上昇も考慮する必要があります。

T_{vj} の増加が重要であるかどうかは、個々のアプリケーションと使用される動作条件に依存します。多くの場合、その影響は軽微であり、20 年の耐用年数を経ても T_{vj} の増加はごくわずかであると考えられます。他のアプリケーションでは、より重要になる場合があります。そのため、第 3 章で示した設計ガイドラインを考慮する必要があります。

さまざまなアプリケーションに対する特定の一定振幅の $V_{GS(th)}$ ドリフトのさまざまな影響は、2 つの例 (DC-AC インバータのハーフブリッジ構成) を用いて説明できます。1 つ目の例は、導通損失 (P_{con}) が損失分布の大半を占めるアプリケーションを表しています。2 つ目の例では、スイッチング損失 (P_{sw}) と導通損失の両方が均等に分散されるアプリケーションを表しています。この 2 つの例のパラメータを Table 1 に示します。

Table 1 パラメータの 2 つの例

	例 1: 導通損失が支配的	例 2: 導通損失とスイッチング損失を 均等に配分
スイッチング周波数 (kHz)	8	30
公称電流 (A)	50	38.5
出力電圧 (V)	400	400
出力周波数 (Hz)	50	50
DC リンク電圧 (V)	600	600
力率	1	1
熱抵抗 (K/W)	3.6	3.6
周囲温度 (°C)	40	40

この 2 つの例は、 $V_{GS(th)}$ ドリフトが、損失の分布とジャンクション温度に与える影響の違いを、Figure 1 に示します。どちらの例も、同じ $V_{GS(th)}$ ドリフトを示します。

2 アプリケーションへの影響

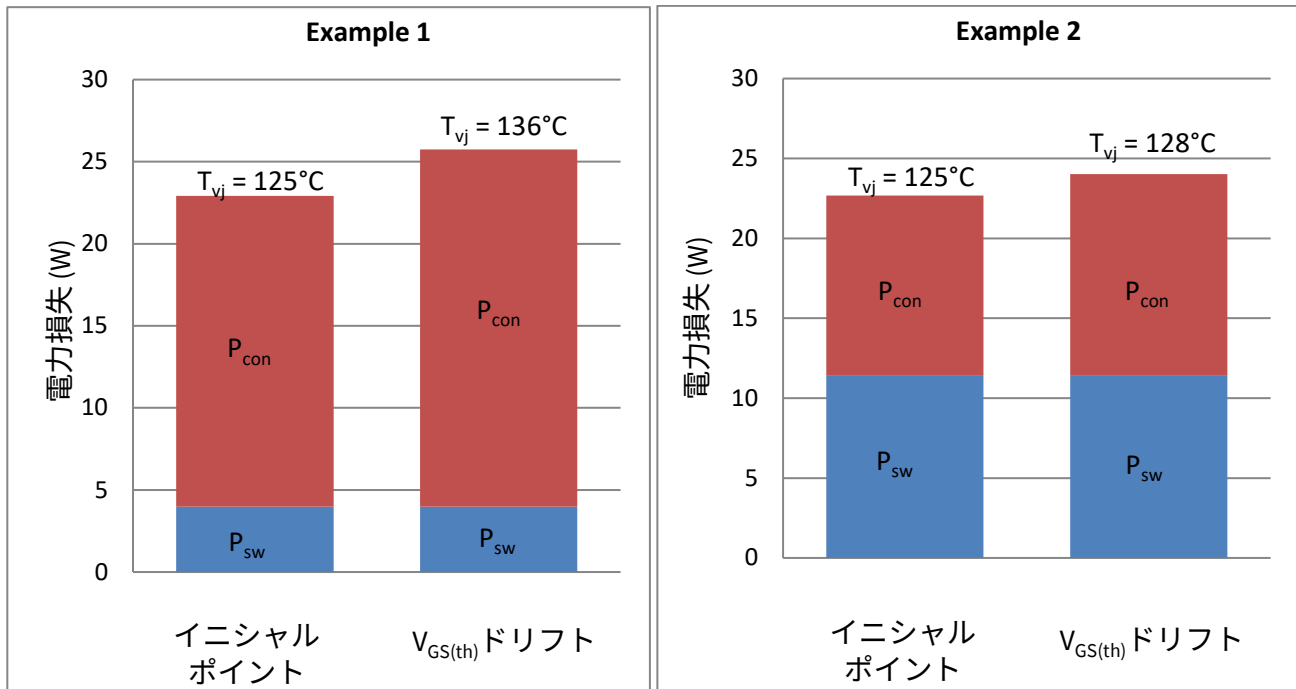


Figure 1 $V_{GS(th)}$ ドリフトのアプリケーションへの影響の例

Example 1 のように導通損失が支配的な場合、 $V_{GS(th)}$ ドリフトによりトータル損失が著しく大きくなり、ジャンクション温度が高くなります。このようなアプリケーションでは、第 3 章で説明する設計ガイドラインを考慮する必要があります。スイッチング損失と導通損失のバランスが取れているアプリケーションでは、 $V_{GS(th)}$ のドリフトは総損失とジャンクション温度にわずかな影響しか与えません。

全体の損失が動的損失に支配されているアプリケーションでは、 $V_{GS(th)}$ ドリフトの影響はほとんど無視できます。

インフィニオンは、現実的なアプリケーション指向のスイッチング条件下でのドリフトを特定するために、GSS として知られる新しいストレステスト手順を開発しました。GSS テストの結果は、実際のアプリケーション条件下と同等のパラメータドリフトを示しており、長期的なパフォーマンスと信頼性を確保するためのチップ認定計画の新しいテストとして確立できるようになりました [4]。このテストは、JEDEC ガイドライン JEP195 にも記載されています。

これは、インフィニオンが最悪の場合の $R_{DS(on)}$ (ミッション終了時のドリフト) プロファイルを評価する方法であり、以下の章で説明します。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

このサブ章では、さまざまな電圧クラスで $R_{DS(on)}$ の変化を予測し、許容範囲に制限する方法について説明します。

3.1 1200 V デバイスのガイドライン

$V_{GS(th)}$ のダイナミックドリフトは、スイッチングサイクル数が増えるほど大きくなります。これをより明確に理解するために、スイッチングイベントの総数は、10年間フル稼働 (24 時間/7 日間) を考慮した正規化されたスイッチング周波数に変換されます。実際のスイッチング周波数 f_{sw} (kHz), 目標寿命 (年), およびシステム全体の寿命に対する動作時間の割合 (%) を用いて、正規化されたスイッチング周波数は、以下の式を使用して定義できます。

$$\text{正規化した } f_{sw} = \text{実際の } f_{sw} [\text{kHz}] \times \text{寿命} [\text{年}] \times \text{稼働率} [\%] \div 10 [\text{年}]$$

インフィニオンが提供する推奨動作領域は、基本的なチップ技術が同じであっても、モジュール内の CoolSiC™ MOSFET とディスクリートパッケージ内の CoolSiC™ MOSFET で別々に指定されています。これは、ゲート信号のオーバーシュートやアンダーシュートが、動作条件、回路設計、および寄生パラメータに大きく依存するためです。特に、ディスクリートデバイスの推奨動作領域 (ROA) は、回路設計、使用条件、インバータのトポロジ、ゲートドライブの設計、プリント基板のレイアウト、および熱設計における自由度が高いため、より保守的なものとなっています。これらの理由により、ディスクリートデバイスの ROA には、ゲートドライバー設計のばらつきを考慮して、2V のオーバーシュートの可能性も含まれています。モジュールの場合は、適切なゲートドライバー設計により、どのような場合でも 0V のオーバーシュートが得られるため、追加のオーバーシュートを考慮する必要はありません。

実際のアプリケーションに基づいて推定された正規化されたスイッチング周波数で、潜在的なアンダーシュートを含む最小ターンオフゲート電圧は、ディスクリートおよびモジュール製品それぞれについて、Figure 2 および Figure 3 から抽出できます。図は、ゲート酸化膜が改良された産業用 M1H バージョンと車載用 M1, M1T, および M1H の新しいデータで更新されました。

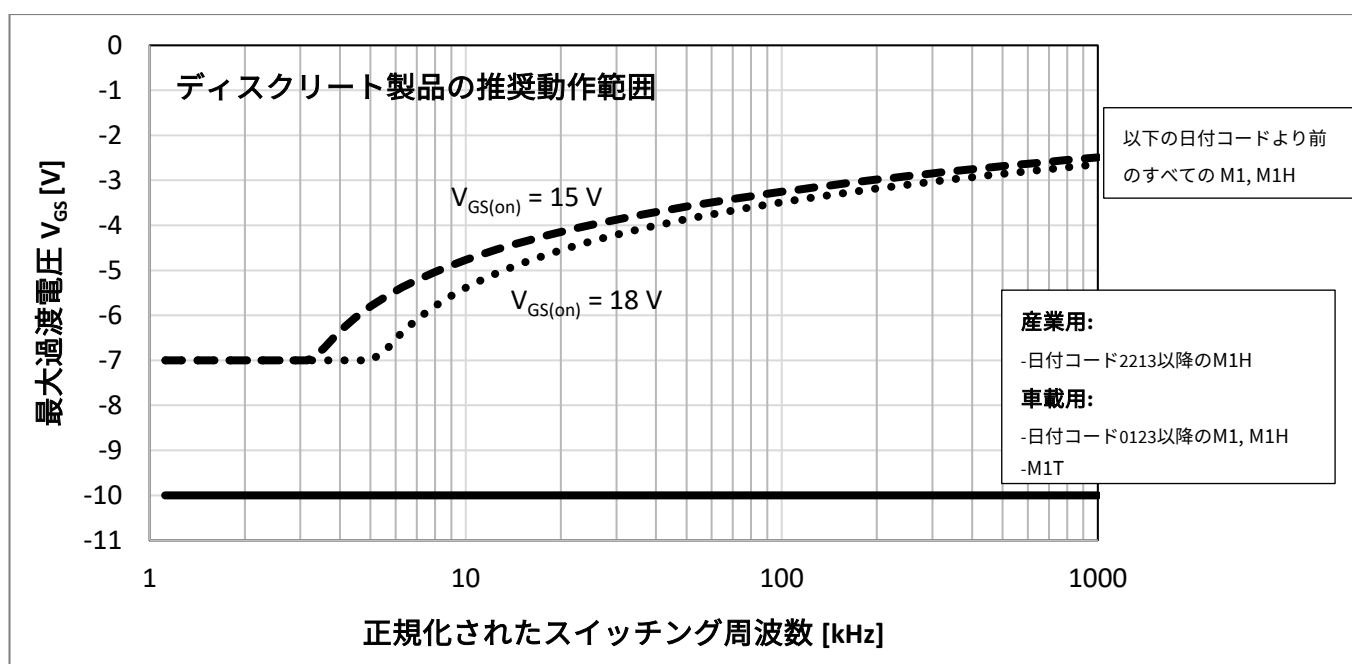


Figure 2 1200 V ディスクリート パッケージ製品の最小ターンオフゲート電圧

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

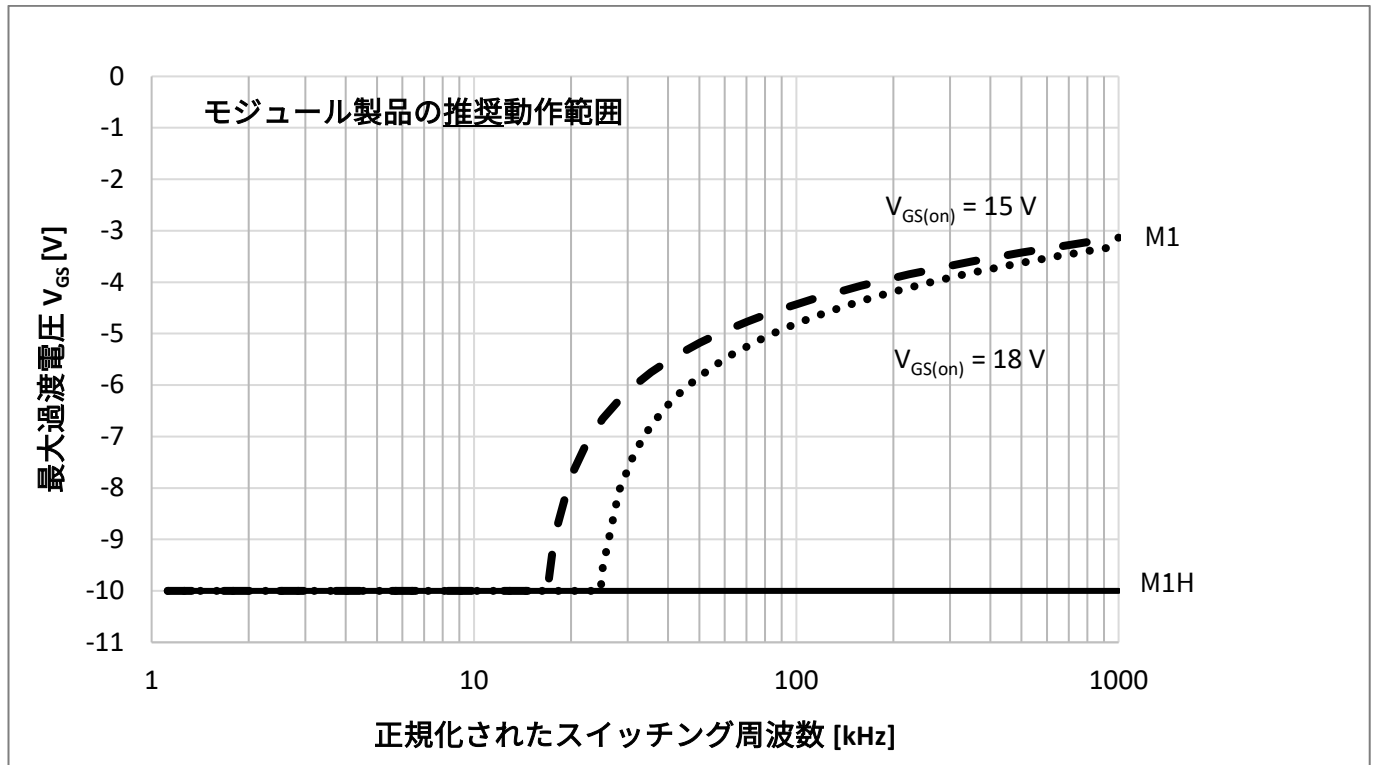


Figure 3 1200 V モジュール製品の最小ターンオフ ゲート電圧

この情報の使用方法の詳細については、以下の例で説明します。ソーラー インバータには、次の機能があります。

- 実際のスイッチング周波数は 20 kHz
- 目標製品寿命 20 年
- 稼働率 50%
- 規格化されたスイッチング周波数は、 $20 \text{ kHz} \times 20 \text{ 年} \times 50\% / 10 \text{ 年} = 20 \text{ kHz}$

ターンオン電圧が 18 V の場合、ディスクリート パッケージの CoolSiC™ MOSFET M1 を使用すると、Figure 2 に見られるように、アンダーシュートを含むターンオフ ゲート電圧は、-4.6 V と 0 V の間にする必要があります。CoolSiC™ MOSFET M1 モジュールを使用したターンオン電圧が 15 V の場合、アンダーシュートを含むターンオフ ゲート電圧は、Figure 3 を参照して、-7.7 V と 0 V の間で設計する必要があります。

推奨動作領域を規定する最低ターンオフ電圧は、製品の全寿命期間中、 I_{nom} および $T_{\text{vj}} = 125^\circ\text{C}$ における $R_{\text{DS(on)}}$ の増加が初期値の 15% を超えないように設定されています。

$R_{\text{DS(on)}}$ の相対的な増加率は、Figure 4 に示すように動作電流 I_d とジャンクション温度 T_{vj} に依存します。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

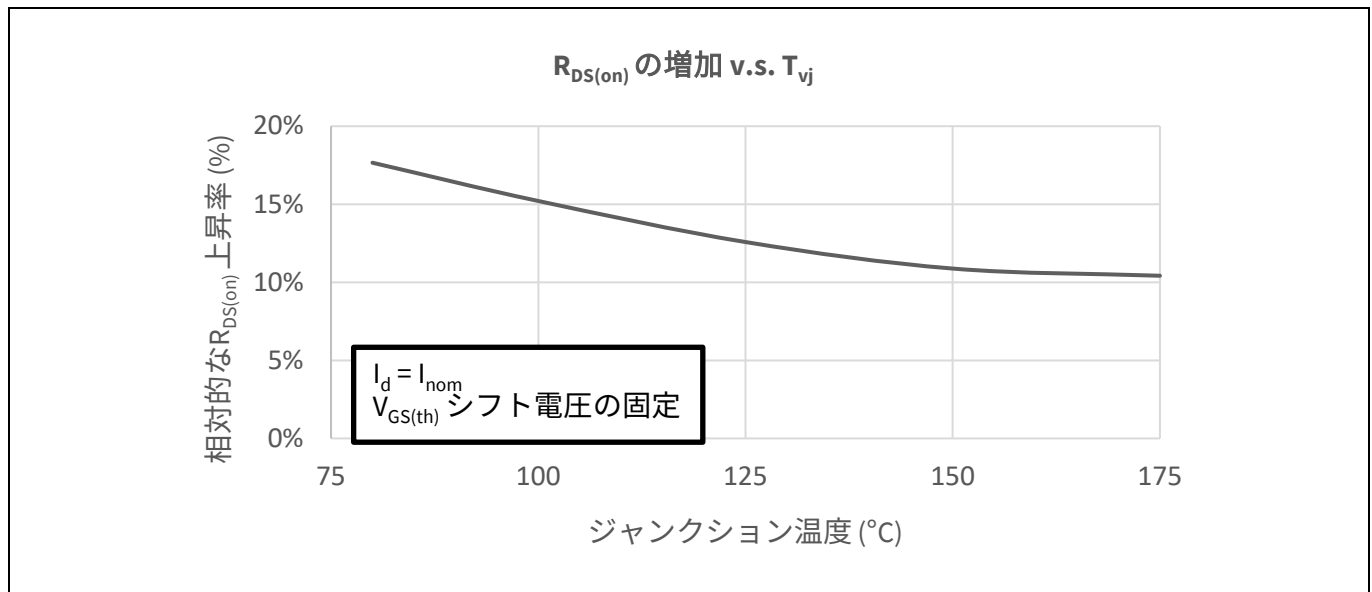


Figure 4 ジャンクション温度の違いによる相対的な $R_{DS(on)}$ の増加

最後に、ROA とは無関係に、ゲート電圧の最小ピーク値が製品データシートに記載されている最大定格を超えてはいけないことに注意してください。

3.1.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価

インフィニオンは常に、新しい世代の半導体の動作と性能を向上させるよう努めています。1200 V CoolSiC™ MOSFET M1H などのテクノロジーは、しきい値電圧の安定性に関して大幅な改善を示します。これにより、設計者は 1200 V M1H の許容ゲート動作ウィンドウを大幅に拡張しながら、15% $R_{DS(on)}$ ドリフトを大幅に下回ることができます。

インフィニオンは、サイクル数 (N_{cycles}) の関数として $R_{DS(on)}$ の変化を記述する予測モデルを開発するために、さまざまな動作条件下で広範なテストを実施しました [3] [4]。これにより、任意のミッションプロファイルに対して最悪の場合の $R_{DS(on)}$ 変化を正確に予測する機会が得られます。

個々のアプリケーションの最悪の場合のミッション終了プロファイル (EoMP) $R_{DS(on)}$ ドリフトを評価するには、EoMP までのスイッチングイベントの合計数を考慮する必要があります。この数値は、目標寿命、合計動作時間、アプリケーションのスイッチング周波数から簡単に計算できます。スイッチングサイクル数 (N_{cycle}) により、 $R_{DS(on)}$ の相対的な変化を Figure 5 から抽出できます。

Figure 5 では、それぞれのデータシートの最大の正および負の動的ゲート-ソース電圧が考慮されています。どちらの図も最悪の条件下でのドリフト値を表しており、デバイスが各製品のデータシートに記載されている制限を超えない限り有効です。この図を使用すると、顧客はドリフトの影響やゲート信号の寄生オーバーシュートやアンダーシュートを考慮することに多くの労力を費やすことなく、アプリケーションに最適なデータシートフレームワーク内のパラメータセットを選択できます。

1200 V CoolSiC™ MOSFET 製品ファミリには、次のような推奨 $V_{GS(on)}$ があります。

- $V_{GS(on)} = 15 \text{ V}$ (M1 製品)
- $V_{GS(on)} = 18 \text{ V}$ (M1H 製品) (車載用)
- $V_{GS(on)} = 15 \sim 18 \text{ V}$ (M1H 製品) (産業用)
- $V_{GS(on)} = 20 \text{ V}$ (D2PAK ファミリの M1T および Gen1p) (AIMBG120RxxxM1)

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

データシートに記載されている最大制限を大幅に下回る、適切に制御されたゲート バイアス レベルで動作するアプリケーションは、Figure 5 に示すように、同じスイッチングサイクル数でもさらに低い $R_{DS(on)}$ ドリフト値を示す可能性があります [3] [4]。

より負の低いターンオフゲート電圧 (-5 V の代わりに -2 V など) で動作する場合、アプリケーションへの影響はわずかです。ここで、いくつかのアプリケーション関連パラメータを考慮する必要があります。例えば、 E_{on} と E_{off} はわずかに変化し、SiC MOSFET ボディ ダイオードの順方向電圧が減少します。

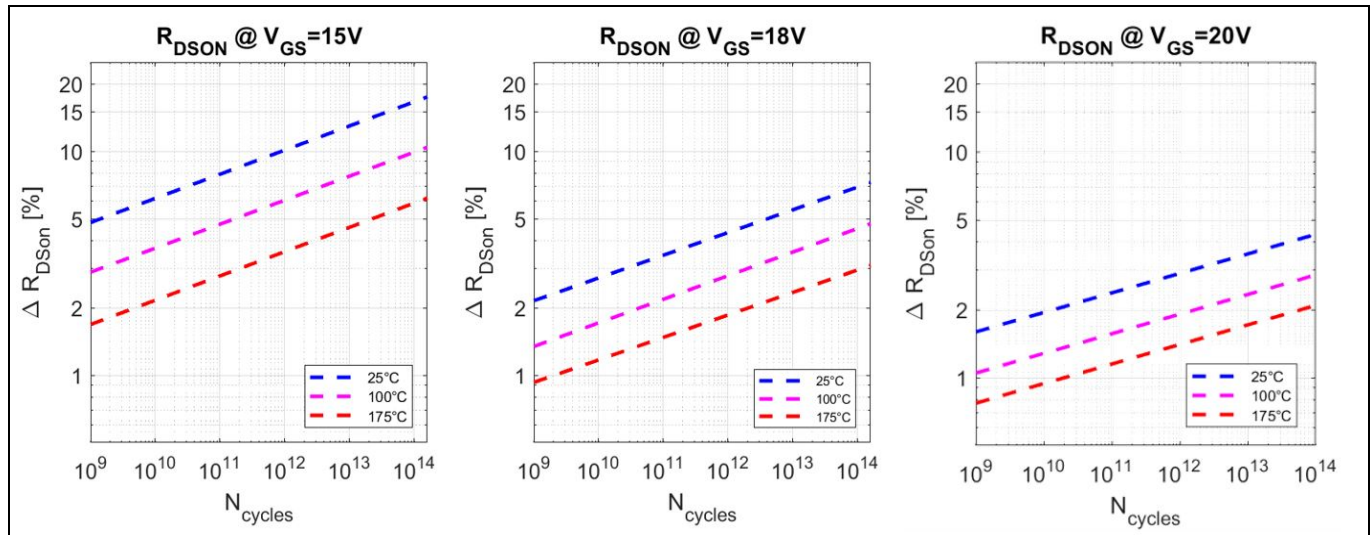


Figure 5 左: $V_{GS(on)} = 15\text{ V}$, $T_{vjop} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化
中央: $V_{GS(on)} = 18\text{ V}$, $T_{vjop} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化
右: $V_{GS(on)} = 20\text{ V}$, $T_{vjop} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化

この情報の使用方法については、次の例で説明します。

- 目標寿命 [年]: 20
- 実稼働時間 [%]: 50、つまり 10 年
- 実稼働時間 [秒]: 315360000 秒 (10 年)
- スwitching周波数 [kHz]: 48
- サイクル持続時間 [秒]: $1/\text{スイッチング周波数} = 0.0000208$
- 寿命末期におけるサイクル数: 動作時間/サイクル期間 $\approx 1.52\text{E}+13$

Figure 5 の右図に示すように、ターンオン電圧が 18 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で ~6%、 175°C で ~3% と予想されます。

Figure 5 の左図に示すように、ターンオン電圧が 15 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で ~13%、 175°C で ~5% と予想されます。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

3.2 650 V デバイスのガイドライン

負のゲート電圧ターンオフ ($V_{GS(off)}$) を伴うスイッチング イベントによって引き起こされる $R_{DS(on)}$ の変動は、より高耐圧のデバイス (例: 1200 V CoolSiC™ MOSFET) と比較して、650 V CoolSiC™ MOSFET デバイスでより顕著です。これは、 R_{ch} が $R_{DS(on)}$ 全体に対してより大きく寄与するためです。ただし、製品データシートに指定されているゲート-ソース間電圧動作範囲内でデバイスを動作させることにより、 $R_{DS(on)}$ の変動を無視できる値に抑えることができます。

3.2.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価

650V CoolSiC™ MOSFET G1 の負の駆動電圧能力を拡張するために、[3]および[4]に示される方法論に従ってさまざまな動作条件下でいくつかのテストが実行され、 $R_{DS(on)}$ の変化を評価できるモデルが開発されました。サイクル数 (N_{cycles}) の関数として。

最悪の場合のミッション終了プロファイル (EoMP) $R_{DS(on)}$ - 個々のアプリケーションのドリフトを評価するには、EoMP までのスイッチング イベントの総数を考慮する必要があります。この数値は、目標寿命、合計動作時間、アプリケーションのスイッチング周波数から簡単に計算できます。スイッチングサイクル数 (N_{cycle}) により、 $R_{DS(on)}$ の相対的な変化を Figure 6 から抽出できます。

Figure 6 では、それぞれのデータシートの最大の正および負の動的ゲート-ソース電圧が考慮されています。この図は最悪の条件下でのドリフト値を表しており、デバイスが各製品のデータシートに記載されている制限を超えない限り有効です。この図を使用すると、顧客はドリフトの影響やゲート信号の寄生オーバーシュートやアンダーシュートを考慮することに多大な労力を費やすことなく、アプリケーションに最適なデータシート フレームワーク内のパラメータセットを選択できます。

デバイス ピンのゲート-ソース間電圧が製品データシートの動作範囲 (「アンダーシュートを含むゲートソース間電圧動作範囲」) で指定された制限内に保たれている場合、製品寿命まで $R_{DS(on)}$ はデータシートの最大仕様を超えません。

650 V CoolSiC™ MOSFET G1 製品の推奨オン状態駆動電圧は、 $V_{GS(on)}=18\text{ V}$ です。このファミリに属する製品は、次の製品番号構造によって識別されます。

- IMx(x)65RyyyM1H (産業用グレード)

ここで:

- x(x) はパッケージ識別子です: 「W」 (TO247-3), 「ZA」 (TO247-4), 「BG」 (D2PAK-7), 「T」 (TOLL)
- yyy は、 $m\Omega$ の一般的な $R_{DS(on)}$ です。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

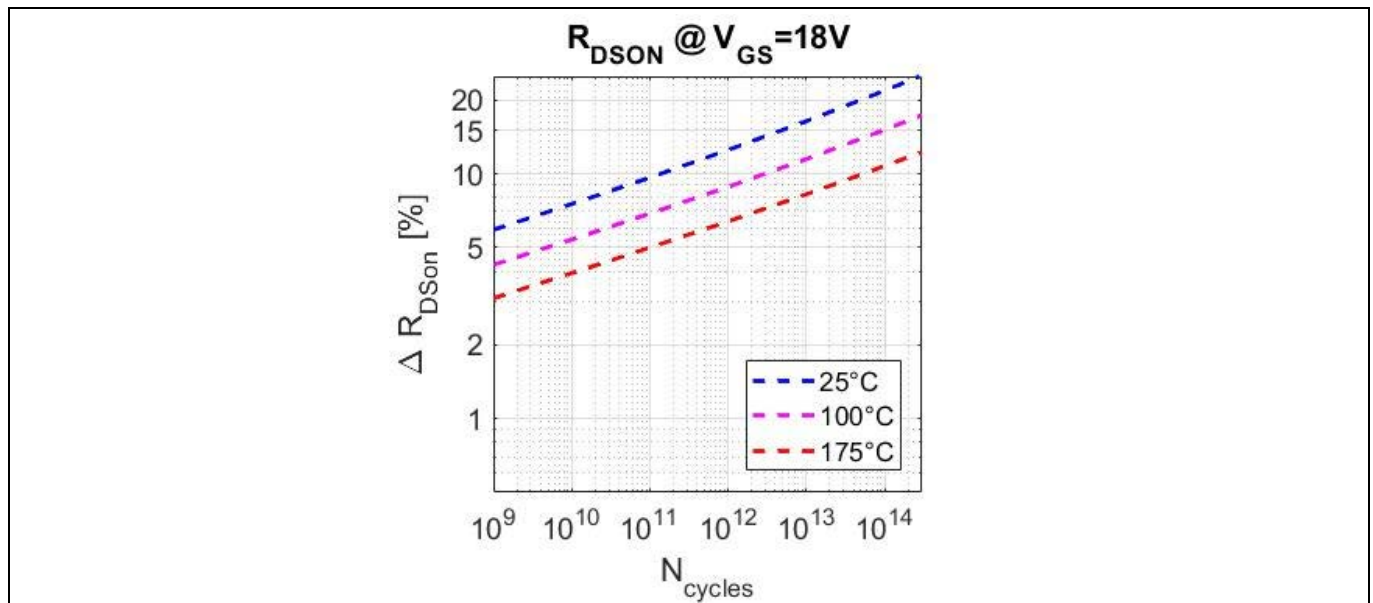


Figure 6 中間読み出し値の外挿に基づく、 $V_{GS(on)} = 18V$, $T_{vjop} = 25^{\circ}C$, $100^{\circ}C$, および $175^{\circ}C$ での相対 $R_{DS(on)}$ 変化

次の例では、この情報の使用方法を説明します。

- 目標寿命 [年]: 10
- 実稼働時間 [%]: 50 = 5 年
- 実稼働時間 [秒]: 1.577E8 (5 年)
- スイッチング周波数 [kHz]: 65
- サイクル持続時間 [秒]: 1/スイッチング周波数 = 0.0000154
- 寿命末期におけるサイクル数: 動作時間/サイクル期間 = ~1.025 E+13

Figure 6 に示すように、ターンオン電圧が 18V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は $100^{\circ}C$ で 12%、 $175^{\circ}C$ で 8% と予想されます。

3.3 750V デバイスのガイドライン

750V CoolSiC™ MOSFET G1 テクノロジー (車載用および産業用グレードで利用可能) は、650V と 1200V 定格のデバイスで示されるしきい値電圧 $V_{GS(th)}$ に対する $R_{DS(on)}$ の依存性を示します。その結果、 $R_{DS(on)}$ ドリフトは 650V テクノロジーのドリフトより大幅に低くなりますが、1200V のドリフトよりはわずかに高くなります。これは、750V テクノロジーの場合、全体の $R_{DS(on)}$ に対するチャネル抵抗 R_{ch} の寄与が 650V の場合より低いものの、1200V の場合と比較すると高いためです。

3.3.1 ミッションプロファイル終了時の最悪の場合の $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価

1200V および 2kV テクノロジーと同様に、インフィニオンは、サイクル数 (N_{cycles}) の関数として $R_{DS(on)}$ の変化を記述する予測モデルを開発するために、さまざまな動作条件下で 750V テクノロジーについても広範なテストを実施しました [3] [4]。これは、あらゆるミッションプロファイルについて、最悪の場合の $R_{DS(on)}$ 変化を正確に予測するのに役立ちます。

個々のアプリケーションの最悪の場合のミッション終了プロファイル (EoMP) $R_{DS(on)}$ ドリフトを評価するには、EoMP までのスイッチングイベントの総数を考慮する必要があります。この数値は、目標寿命、総

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

動作時間, およびアプリケーションのスイッチング周波数を使用して簡単に計算できます。スイッチングサイクル数 (N_{cycles}) に基づく、 $R_{DS(on)}$ の相対的な変化を Figure 7 に示します。

Figure 7 において、それぞれの製品データシートに記載されている正および負の最大ダイナミックゲート-ソース電圧が考慮されています。この図は最悪の条件下でのドリフト値を示しており、デバイスがデータシートに記載されている制限を超えない限り有効です。この図を使用すると、顧客はドリフトの影響やゲート信号の寄生オーバーシュートやアンダーシュートを考慮することに多大な労力を費やすことなく、アプリケーションに最適なデータシートフレームワーク内のパラメータセットを選択できます。

デバイスピンのゲートソース間電圧が製品データシートの動作範囲 (「アンダーシュートを含むゲートソース間電圧動作範囲」) で指定された制限内に保たれている場合、 $R_{DS(on)}$ はデータシートの寿命の最大仕様を超えません。

750 V CoolSiC™ MOSFET G1 製品の推奨オン状態駆動電圧は、 $V_{GS(on)} = 18\text{ V}$ です。このファミリに属する製品は、次の製品番号構造を使用して識別できます。

- AlMxx75yyyM1H (車載用グレード)
- IMxx75RyyyM1H (産業用グレード)

ここで:

- xx はパッケージ識別子です: 「BG」 (D2PAK-7), 「DQ」 (QDPAK TSC), 「ZA」 (TO247-4)
- yyy は、 $m\Omega$ の一般的な $R_{DS(on)}$ です。

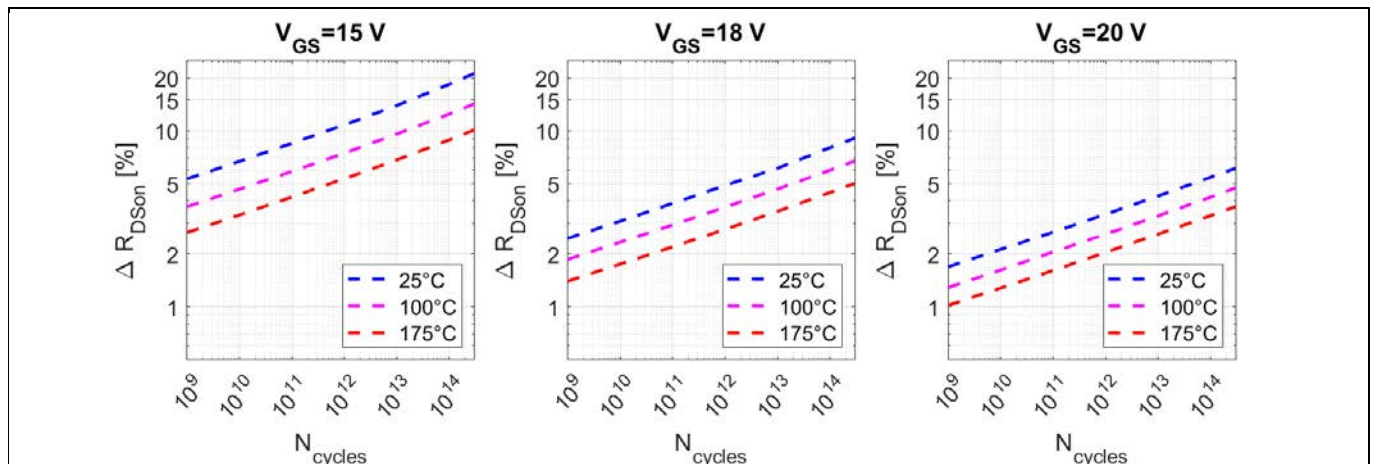


Figure 7 左: $V_{GS(on)} = 15\text{ V}$, $T_{j,op} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化
中央: $V_{GS(on)} = 18\text{ V}$, $T_{j,op} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化
右: $V_{GS(on)} = 20\text{ V}$, $T_{j,op} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化

次の例では、この情報の使用方法を説明します。

- 目標寿命 [年]: 20
- 実稼働時間 [%]: 50 = 5 年
- 実稼働時間 [秒]: 315360000 (10 年)
- スwitching周波数 [kHz]: 48
- サイクル持続時間 [秒]: $1/\text{スイッチング周波数} = 0.0000208$
- 寿命末期におけるサイクル数: 動作時間/サイクル期間 = $\sim 1.52 \text{ E}+13$

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

Figure 7 の左図に示すように、ターンオン電圧が 15 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で~15%、175°C で~7%と予想されます。

Figure 7 の中央図に示すように、ターンオン電圧が 18 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で~7%、175°C で~4%と予想されます。

Figure 7 の右図に示すように、ターンオン電圧が 20 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で~5%、175°C で~3%と予想されます。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

3.4 2000 V デバイスのガイドライン

650 V, 750 V, および 1200 V 定格のデバイスと比較して、2 kV SiC MOSFET テクノロジーは、しきい値電圧に対する $R_{DS(on)}$ の依存性が低いため、 $R_{DS(on)}$ ドリフトが小さくなります。現象の説明中に述べたように、しきい値電圧 $V_{GS(th)}$ の増加により、チャネル抵抗 R_{ch} がわずかに増加し、続いて $R_{DS(on)}$ が増加します。ただし、より高電圧のデバイスでは、EPI 層が厚くなるため、 $R_{DS(on)}$ は EPI 抵抗によって支配され、チャネル抵抗の影響は少なくなります。

すべての電圧クラスで、M1H ベース テクノロジーには改良されたゲート酸化膜が搭載されており、ゲートスイッチング不安定性 (GSI) とも呼ばれるバイポーラ AC ストレスに関して大幅な改善が見られます。インフィニオンは、2 kV CoolSiC™ MOSFET M1H を使用することで、優れた安定性を提供し、ドリフト現象の影響を軽減し、負のゲート-ソース間電圧を完全に自由に選択できるようにし、安全な動作を確保しながら -10 V まで下げることができます。

3.4.1 ミッションプロファイル終了時のワーストケース $R_{DS(on)}$ ドリフトの評価

1200 V デバイスのアプローチと境界条件に続き、2 kV テクノロジーでもインフィニオンは広範なテストを実施し、Figure 8 に示すように、 $R_{DS(on)}$ の変化をサイクル数 (N_{cycles}) の関数として説明する予測モデルを開発しました。

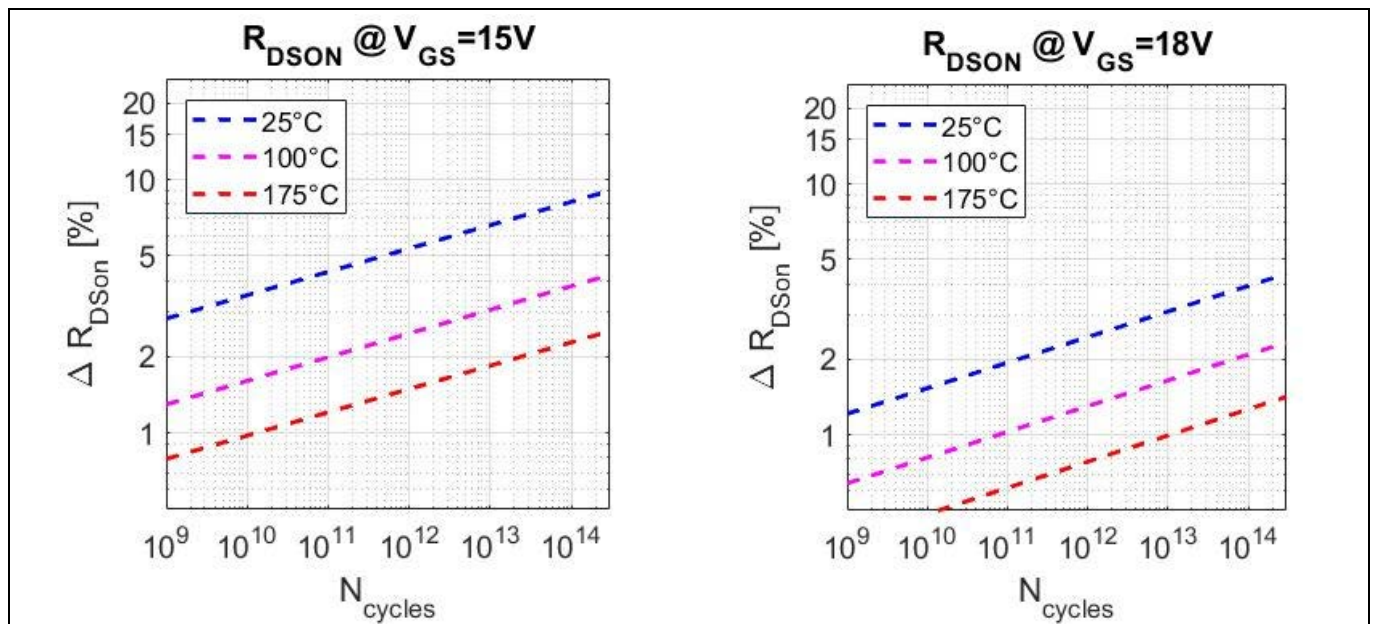


Figure 8 左: $V_{GS(on)} = 15\text{ V}$, $T_{vjop} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化
右: $V_{GS(on)} = 18\text{ V}$, $T_{vjop} = 25^\circ\text{C}$, 100°C , および 175°C での相対 $R_{DS(on)}$ 変化

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

この情報の使用方法については、次の例で説明します。

- 目標寿命 [年]: 20
- 実稼働時間 [%]: 50 = 10 年
- 実稼働時間 [秒]: 315360000 秒 (10 年)
- スイッチング周波数 [kHz]: 48
- サイクル持続時間 [秒]: $1/\text{スイッチング周波数} = 0.0000208$
- 寿命末期におけるサイクル数: 動作時間/サイクル期間 $\approx 1.52\text{E}+13$

Figure 8 の左図に示すように、ターンオン電圧が 15 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で~7%、175°C で~2% と予想されます。

Figure 8 の右図に示すように、ターンオン電圧が 18 V の場合、 $R_{DS(on)}$ の変化は 25°C で~3%、175°C で~1% と予想されます。

3.5 ゲート電圧のオーバーシュートとアンダーシュートの定義

$V_{GS(th)}$ のドリフトは長期的な影響であるため、オーバーシュートとアンダーシュートの繰り返しのみを考慮する必要があります。非標準的な動作条件 (電力システムの不安定さや短絡状態など) に起因するゲート電圧のオーバーシュートやアンダーシュートは考慮すべきではありません。

オーバーシュートとアンダーシュートが $V_{GS(th)}$ ドリフトにとって重要なのは、スパイクがチップのゲートソース端子に直接到達する場合だけです。実験的に定量化するには、オーバーシュートとアンダーシュートをチップ上で直接測定するのが理想的です。しかし、これは常に可能というわけではないので、以下のガイドラインを参考にしてください。

- 絶縁が必要ない場合は、高帯域 (100 MHz) のダイレクトプローブを使用してください
- 絶縁が必要な場合は、高帯域でコモンモード除去能力の高い差動プローブを使用してください
- Figure 9 に示すように、常に可能な限りチップの近くで測定するようにしてください

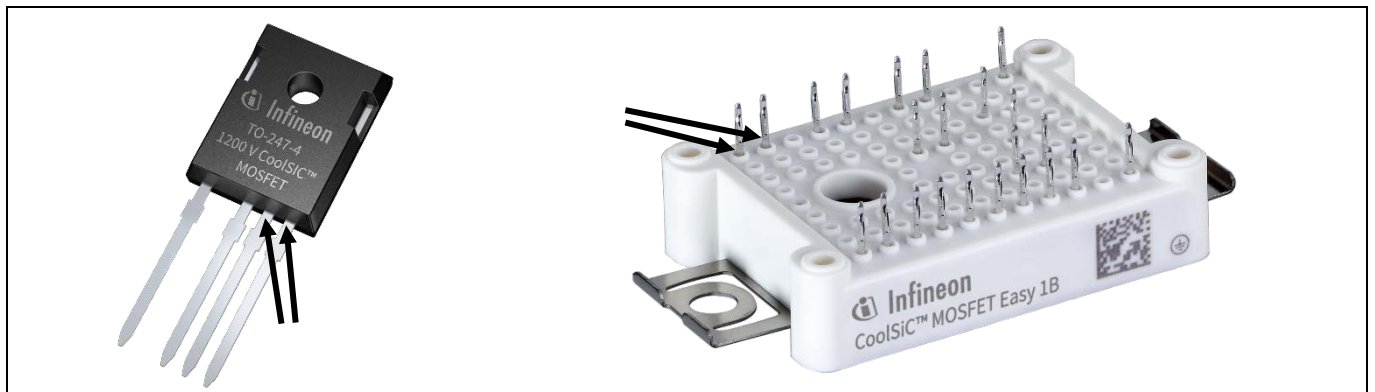


Figure 9 ゲート電圧測定ポイントの例

ゲート電圧のオーバーシュートとアンダーシュートの形状は、個々のインバータ設計によって異なる場合があります。Figure 10 に示すように、ピーク電圧を考慮する必要があります。

3 ゲートドライブ電圧ガイドライン

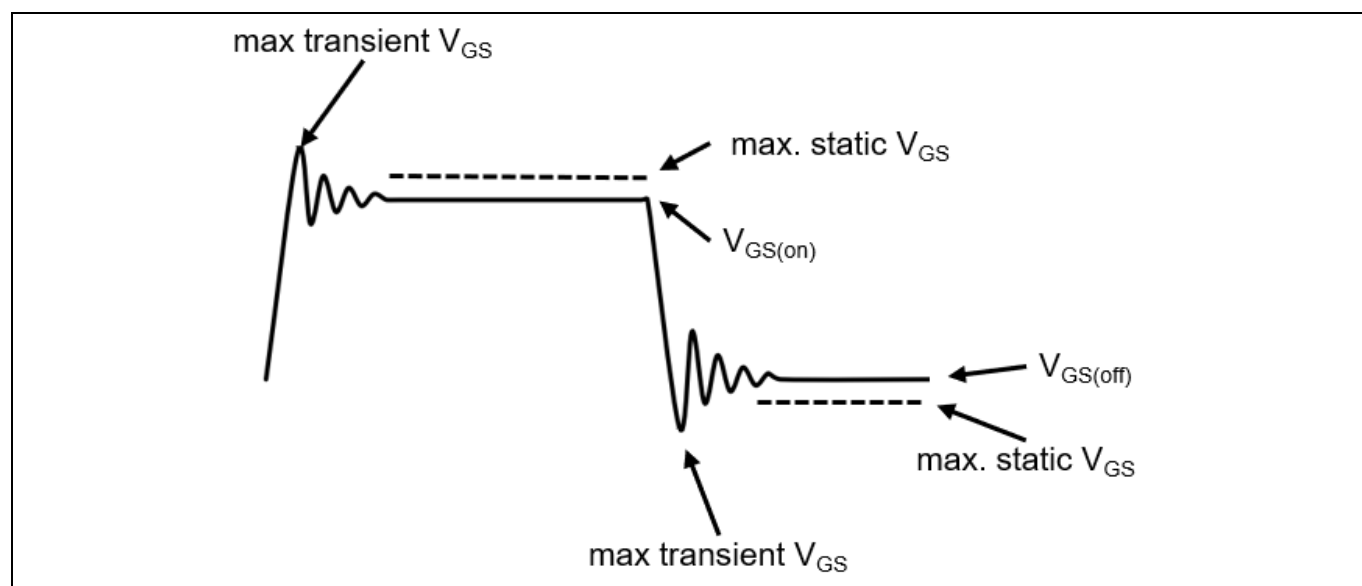


Figure 10 ゲート電圧のオーバーシュートとアンダーシュート

4 参考資料

4 参考資料

- [1] T. Aichinger, G. Rescher, G. Pobegen, “Threshold voltage peculiarities and bias temperature instabilities of SiC MOSFETs”; Microelectronics Reliability 80, 2018, 68–78.
- [2] Whitepaper 08-2020, “How Infineon controls and assures the reliability of SiC-based power semiconductors” pp. 16–21; Infineon, www.infineon.com.
- [3] P. Salmen, M. W. Feil, K. Waschneck, H. Reisinger, G. Rescher, T. Aichinger, “A new test procedure to realistically estimate end-of-life electrical parameter stability of SiC MOSFETs in switching operation”, 2021 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS), 2021.
- [4] P. Salmen, M. W. Feil, K. Waschneck, H. Reisinger, G. Rescher, I. Voss, M. Sievers, T. Aichinger, “Gate-switching-stress test: Electrical parameter stability of SiC MOSFETs in switching operation”, Microelectronics Reliability, 2022.

改訂履歴

改訂履歴

版数	発行日	変更内容
1.1	2021-10-21	本版は英語版 AN2018-09 V1.1 Guidelines for CoolSiC™ MOSFET gate drive voltage window について、日本語に翻訳されたドキュメントです。
1.2	2023-02-27	これは英語版 AN2018-09 V1.2 Guidelines for CoolSiC™ MOSFET gate drive voltage window を翻訳した日本語版 V1.2 です。
1.3	2023-12-14	これは英語版 AN2018-09 V1.3 Guidelines for CoolSiC™ MOSFET gate drive voltage window を翻訳した日本語版 V1.3 です。
1.4	2024-02-01	これは英語版 AN2018-09 V1.4 Guidelines for CoolSiC™ MOSFET gate drive voltage window を翻訳した日本語版 V1.4 です。

Trademarks

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

Edition 2024-02-01

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

**© 2024 Infineon Technologies AG.
All Rights Reserved.**

**Do you have a question about this
document?**

Email: erratum@infineon.com

**Document reference
AN2018-09_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あります。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。