

パワーMOSFET の安全動作領域 のディレーティング方法

概要

本資料は MOSFET の安全動作領域の温度ディレーティング方法について述べたものです。

目次

概要	1
目次	2
1. はじめに	3
2. SOA とは	3
3. SOA の温度デレーティング方法	4
3.1. $T_c = 25^\circ\text{C}$ (直流動作)ラインのデレーティング	4
3.2. $t_w = 1\text{ms}$ ラインのデレーティング方法	6
$r_{th} - t_w$	6
過渡熱抵抗 (基準化)	6
$r_{th(t)}/R_{th(ch-c)}$	6
パルス幅 t_w (s)	6
製品取り扱い上のお願い	8

1. はじめに

MOSFET の安全動作領域(以下、SOA)には温度依存性があります。データシートに記載されている SOA は $T_c = 25^\circ\text{C}$ 、もしくは、 $T_a = 25^\circ\text{C}$ にて規定されていますが、実機での実使用温度に合わせた SOA の温度ディレーティングを行い、MOSFET の動作軌跡がディレーティングされた SOA 内に収まってことを確認しなければなりません。本資料では、この SOA の温度ディレーティング方法について説明をします。

2. SOA とは

SOA とは MOSFET が破壊および劣化すること無く動作する領域であり、実使用条件下ではこの領域を一瞬たりとも超えてはならない領域です。従来、MOSFET の SOA にはバイポーラトランジスタに存在する二次降伏領域(以下、S/B 領域)は無く、ドレイン・ソース間電圧の定格とドレイン電流の定格とその間の熱制限領域のみが規定されていました。しかしながら、昨今の製品では微細化によって MOSFET にも S/B 領域が存在するようになり、MOSFET の動作軌跡が SOA 内に確実に収まっているか慎重な確認が必要になってきています。

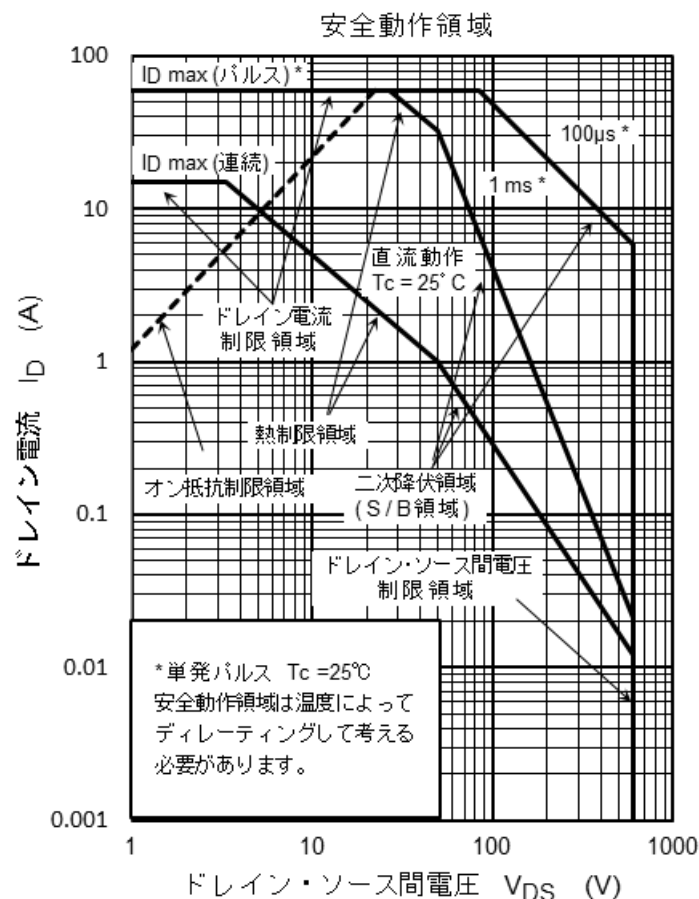


図 2.1 MOSFET の安全動作領域 (SOA)

MOSFET の安全動作領域には、下記 5 つの制限領域が存在します。

①熱制限領域

許容損失 P_D で制限される領域です。この領域は $P_D =$ 一定であり、両対数グラフでは-1 の傾きとなります。

②S/B 領域

近年、MOSFET の微細化が進み、MOSFET でも一部の素子で見られるようになったバイポーラトランジスタの二次降伏に相当する領域です。

③電流制限領域

ドレイン電流定格で制限される領域です。DC(連続)の場合は $I_D(\max)$ 、パルスの場合は $I_{DP}(\max)$ で制限されます。

④ドレイン・ソース間電圧制限領域

ドレイン・ソース間の耐圧 V_{DS} により制限される領域です。

⑤オン抵抗制限領域

オン抵抗 $R_{DS(ON)}(\max)$ により理論的に制限される領域で、 $I_D = V_{DS} / R_{DS(ON)}(\max)$ です。

3. SOA の温度デレーティング方法

図 2.1 の SOA にて $T_c = 100^\circ\text{C}$ のときのデレーティングを考慮した P_D を求めます。図 3.1 は $P_D - T_c$ 特性でデレーティング時の P_D は (3-1) 式で与えられます。 $T_c = 100^\circ\text{C}$ の時の P_D は 20 W になります。なお、(3-1) 式は熱制限領域に適用されます。

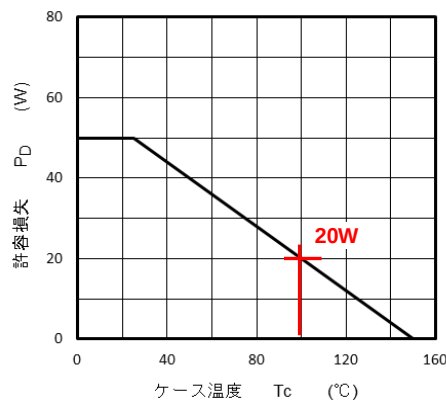


図 3.1 $P_D - T_c$ 特性

$$\begin{aligned}
 P_D &= \frac{T_{ch(\max)} - T_c}{T_{ch(\max)} - 25} \times P_{D(\max)} \\
 &= \frac{150 - 100}{150 - 25} \times 50 \\
 &= 20(\text{W}) \quad \dots (3-1)
 \end{aligned}$$

3.1. $T_c = 25^\circ\text{C}$ (直流動作)ラインのデレーティング

図 3.2 にて、 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 時には①と②は熱制限領域であるため、 $P_D(\max) = 50 \text{ W}$ ($V_{DS} \times I_D = 50 \text{ W}$) の等電力線上にあり、 $T_c = 100^\circ\text{C}$ 時には図 3.1 から求めた 20 W の等電力線のラインにデレーティングされます。①' と ②' のポイントは①の V_{DS} 、②の I_D を (3-2) 式よりそれぞれ 40 % にデレーティングし、(3-3) 式と (3-4) 式から求めることができます。

$$d_T = \frac{P_D}{P_{Dmax}} \quad \dots (3-2)$$

$$\begin{aligned} V_{DS(1)'} &= \frac{P_D}{I_{Dmax}} \cdot d_T \\ &= \frac{50}{15} \times 0.4 \\ &\approx 1.33 \text{ (V)} \quad \dots (3-3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{D(2)'} &= \frac{P_D}{V_{DS}} \cdot d_T \\ &= \frac{50}{50} \times 0.4 \\ &= 0.4 \text{ (A)} \quad \dots (3-4) \end{aligned}$$

②と③の S/B 領域を通るラインの傾き a は
(3-5)式で求められます。

$$\begin{aligned} a &= \frac{\log_{10} I_{D(3)} - \log_{10} I_{D(2)}}{\log_{10} V_{DS(3)} - \log_{10} V_{DS(2)}} \\ &= \frac{\log_{10} \frac{I_{D(3)}}{I_{D(2)}}}{\log_{10} \frac{V_{DS(3)}}{V_{DS(2)}}} \\ &= \frac{\log_{10} \frac{0.012}{1}}{\log_{10} \frac{600}{50}} \\ &\approx -1.780 \quad \dots (3-5) \end{aligned}$$

ディレーティング後のラインは a の傾きで②' を通るため、③' の I_D は(3-6)式から求められます。

$$\begin{aligned} I_{D(3)'} &= \left(\frac{V_{DS(3)'}}{V_{DS(2)'}} \right)^a \cdot I_{D(2)'} \\ &= \left(\frac{600}{50} \right)^{-1.780} \times 0.4 \\ &\approx 0.0048 \text{ (A)} \quad \dots (3-6) \end{aligned}$$

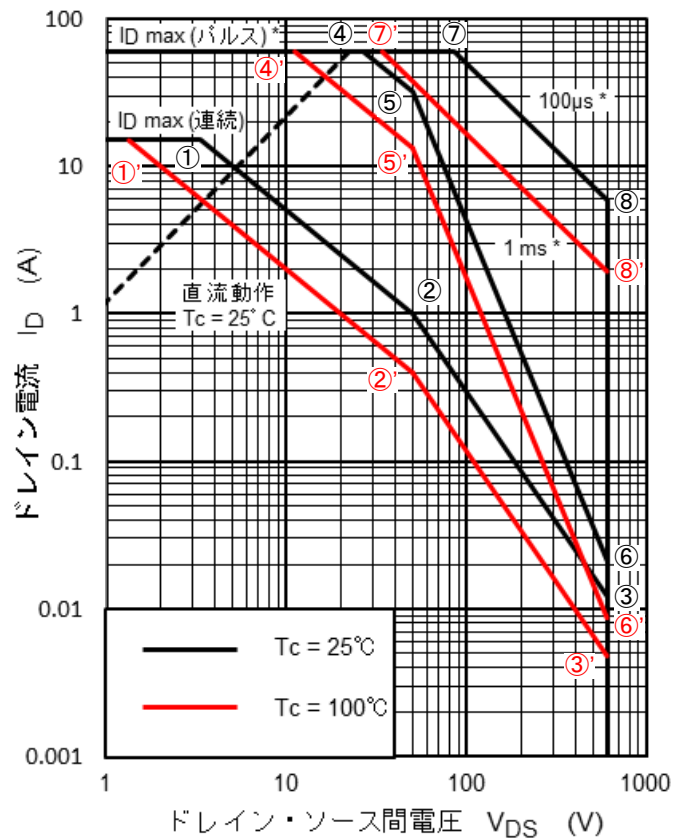


図 3.2 SOA の温度ディレーティング

3.2. $t_w = 1\text{ms}$ ラインのデレーティング方法

$t_w = 1\text{ms}$ での許容損失 $P_D(1\text{ms})$ は図 3.3 の過渡熱インピーダンス特性から約 1667W と算出できます。この値を用いて、 $T_c = 100\text{ }^\circ\text{C}$ 時における熱制限領域(④' ~ ⑤')と S/B 領域(⑤' ~ ⑥')のデレーティングラインを通る各ポイントは $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$ (直流動作)と同様に求めると下記のようになります。

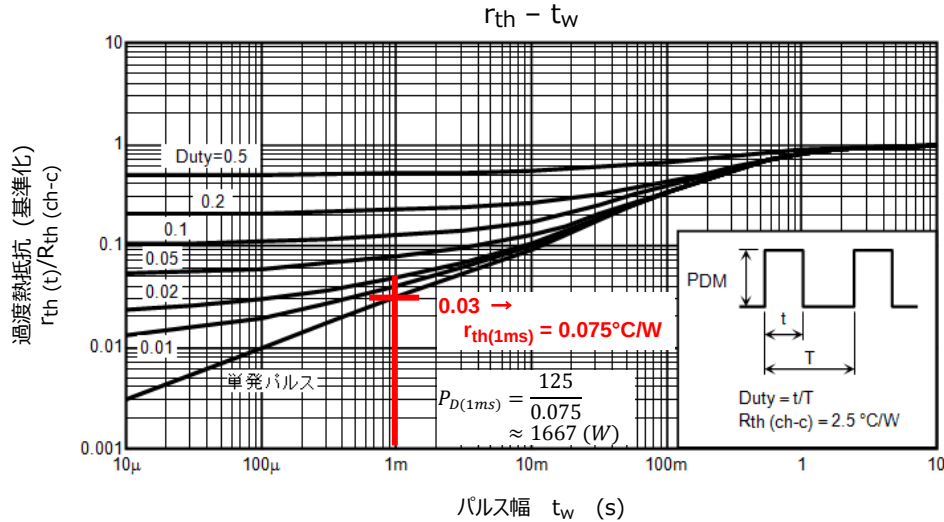


図 3.3 過渡熱インピーダンス特性

$$\begin{aligned}
 V_{DS④'} &= \frac{P_{D(1\text{ms})}}{I_{DP}} \cdot d_T \\
 &= \frac{1667}{60} \times 0.4 \\
 &\approx 11.1 \text{ (V)} \quad \dots (3-7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{D⑤'} &= \frac{P_{D(1\text{ms})}}{V_{DS⑤'}} \cdot d_T \\
 &= \frac{1667}{50} \times 0.4 \\
 &\approx 13.3 \text{ (A)} \quad \dots (3-8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{D⑥'} &= \left(\frac{V_{DS⑥'}}{V_{DS⑤'}} \right)^{a'} \cdot I_{D⑤'} \\
 &= \left(\frac{600}{50} \right)^{-2.952} \times 13.3 \\
 &\approx 0.0087 \text{ (A)} \quad \dots (3-9)
 \end{aligned}$$

$t_w = 100$ ラインのデレーティング方法

このラインは傾きを求めると $a'' \approx -1.196$ となり、熱制限領域ではないことが判ります。 $V_{DS(7)'}$ と $I_{D(8)'}$ はそれぞれ

(3-10) 式と(3-11) 式から求まります。

$$\begin{aligned} V_{DS(7)'} &= \frac{P_{D(100\mu s)}}{I_{DP}} \cdot d_T \\ &= \frac{5100}{60} \times 0.4 \\ &= 34 \text{ (V)} \quad \dots \text{ (3-10)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{D(8)'} &= \left(\frac{V_{DS(8)'}}{V_{DS(7)'}} \right)^{-a''} \cdot I_{D(7)'} \\ &= \left(\frac{600}{34} \right)^{-1.196} \times 60 \\ &\approx 1.94 \text{ (A)} \quad \dots \text{ (3-11)} \end{aligned}$$

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報(本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど)および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器(以下“特定用途”という)に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、電力機器、金融関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口までお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証(機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。)をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようにご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。