

# パワーMOSFET 技術資料

## 目次

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| はじめにお読みください .....                                                | 3  |
| 1. パワーMOSFET .....                                               | 4  |
| 1-1. 特性用語一覧 .....                                                | 4  |
| 1-1-1. 絶対最大定格（瞬時であっても超えてはならない値） .....                            | 4  |
| 1-1-2. 電氣的・熱的特性 .....                                            | 5  |
| 1-2. 電氣的特性 .....                                                 | 6  |
| 1-2-1. ドレイン・ソース間電圧 $V_{DS}$ .....                                | 7  |
| 1-2-2. 出力特性 $V_{DS}$ - $I_D$ .....                               | 7  |
| 1-2-3. 伝導特性 $V_{GS}$ - $I_D$ .....                               | 7  |
| 1-2-4. オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ 特性 .....                                | 8  |
| 1-2-5. $R_{DS(on)}$ - $V_{GS}$ 曲線について .....                      | 8  |
| 1-2-6. しきい値電圧 $V_{TH}$ .....                                     | 9  |
| 1-2-7. 容量特性 $C_{iss}$ , $C_{rss}$ , $C_{oss}$ .....              | 9  |
| 1-2-8. スイッチング特性 $t_{d(on)}$ , $t_r$ , $t_{d(off)}$ , $t_f$ ..... | 10 |
| 1-2-9. ゲートチャージ特性 $Q_g$ .....                                     | 10 |
| 1-2-10. 安全動作領域 SOA .....                                         | 11 |
| 1-2-11. アバランシェ特性 .....                                           | 11 |
| 1-2-12. $dv/dt$ , $di/dt$ 特性 .....                               | 11 |
| 1-2-13. 静電気耐量(ESD: Electrostatic Discharge)について .....            | 12 |
| 1-2-14. デイレーティング曲線について .....                                     | 12 |
| 1-2-15. アバランシェデイレーティング曲線について .....                               | 12 |
| 1-2-16. 熱抵抗について .....                                            | 13 |
| 1-2-17. 過渡熱抵抗について .....                                          | 13 |

## はじめにお読みください

1. ご採用に際しては、別途仕様書をご請求の上、ご確認をお願いいたします。
2. 本資料に記載されている当社製品の品質水準は、一般的な信頼度が要求される標準用途を意図しています。

その製品の故障や誤動作が直接生命や人体に影響を及ぼすような極めて高い品質、信頼度を要求される特別、特定用途の機器、装置にご使用の場合には必ず事前に当社へご連絡の上、確認を得て下さい。

当社の製品の品質水準は以下のように分類しております。

### 【標準用途】

コンピュータ、OA 等の事務機器、通信用端末機器、計測器、AV 機器、アミューズメント機器、家電、  
工作機器、パーソナル機器、産業用機器等

### 【特別用途】

輸送機器（車載、船舶等）、基幹用通信機器、交通信号機器、防災/防犯機器、各種安全機器、医療機器等

### 【特定用途】

原子力制御システム、航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、生命維持のための装置、システム等

3. 当社は品質と信頼性の向上に絶えず努めていますが、必要に応じ、安全性を考慮した冗長設計、延焼防止設計、誤動作防止設計等の手段により結果として人身事故、火災事故、社会的な損害等が防止できるようご検討下さい。
4. 本資料に記載されている内容は、製品改良などのためお断りなしに変更することがありますのでご了承下さい。  
製品のご購入に際しましては事前に当社または特約店へ最新の情報をご確認下さい。
5. 本資料の使用によって起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、当社は一切その責任を負いません。
6. 本資料によって第三者または当社の特許権その他権利の実施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。
7. 本資料に記載されている製品が、外国為替及び外国貿易管理法に基づき規制されている場合、輸出には同法に基づく日本国政府の輸出許可が必要です。
8. 本資料の一部または全部を当社に無断で転載または複製することを堅くお断りいたします。

## 1. パワーMOSFET

### 1-1. 特性用語一覧

#### 1-1-1. 絶対最大定格（瞬時であっても超えてはならない値）

表 1-1 絶対最大定格（特に記載が無い限り  $T_c=25^{\circ}\text{C}$  における規定値）

| 項 目                                            | 記 号      | 用 語 の 説 明                                                      |
|------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------|
| 保存温度<br>Storage temperature                    | Tstg     | 素子非動作中に超えてはならない保存周囲温度                                          |
| チャネル部温度<br>Channel temperature                 | Tch      | 素子動作中に超えてはならないチャネル部温度                                          |
| ドレイン・ソース間電圧<br>Drain-source voltage            | $V_{DS}$ | ゲート・ソース間を直流的に短絡した状態で、ドレイン・ソース間に印加できる電圧の最大ピーク値                  |
| ゲート・ソース間電圧<br>Gate-source voltage              | $V_{GS}$ | ドレイン・ソース間を直流的に短絡した状態で、ゲート・ソース間に印加できる電圧の最大ピーク値                  |
| ドレイン電流<br>Continuous drain current             | $I_D$    | 全損失の限度内において、ドレインに許容される直流電流の最大値                                 |
| ドレイン電流（ピーク）<br>Continuous drain current (peak) | $I_{DP}$ | 規定されたパルス幅において、パルス動作時に許容されるドレイン電流の最大ピーク値                        |
| ソース電流（直流）<br>Continuous source current (peak)  | $I_S$    | 全損失の限度内において、ゲート・ソース間を短絡した状態でのソース・ドレイン間のボディダイオードに許容される順方向電流の最大値 |
| 全損失<br>Total power dissipation                 | $P_T$    | 規定の放熱条件において、素子に連続的に消費させ得る損失の最大値                                |
| 単発アバランシェ電流<br>Single avalanche current         | $I_{AS}$ | 素子がターンオフ状態に移行する際に非繰り返しパルスで許容できるアバランシェ電流の最大値                    |
| 繰り返しアバランシェ電流<br>Repetitive avalanche current   | $I_{AR}$ | 素子がターンオフ状態に移行する際に繰り返しパルスで許容できるアバランシェ電流の最大値                     |
| 単発アバランシェエネルギー<br>Single avalanche energy       | $E_{AS}$ | 素子がターンオフ状態に移行する際に非繰り返しパルスで許容できるアバランシェエネルギーの最大値                 |
| 繰り返しアバランシェエネルギー<br>Repetitive avalanche energy | $E_{AR}$ | 素子がターンオフ状態に移行する際に繰り返しパルスで許容できるアバランシェエネルギーの最大値                  |

表 1-2 絶対最大定格の例 ( $T_c=25^{\circ}\text{C}$ )

| 項 目           | 記 号      | 条 件                                                                   | 規格値        | 単位                 |
|---------------|----------|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|
| 保存温度          | Tstg     |                                                                       | -55 to 150 | $^{\circ}\text{C}$ |
| チャネル温度        | Tch      |                                                                       | -55 to 150 | $^{\circ}\text{C}$ |
| ドレイン・ソース間電圧   | $V_{DS}$ |                                                                       | 100        | V                  |
| ゲート・ソース間電圧    | $V_{GS}$ |                                                                       | $\pm 20$   | V                  |
| ドレイン電流（直流）    | $I_D$    |                                                                       | 26         | A                  |
| ドレイン電流（ピーク）   | $I_{DP}$ | Pulse width 10 $\mu\text{s}$ , duty=1/100                             | 78         | A                  |
| ソース電流（直流）     | $I_{DS}$ | $V_{GS}=0\text{V}$                                                    |            |                    |
| 全損失           | $P_T$    |                                                                       | 44         | W                  |
| 単発アバランシェ電流    | $I_{AS}$ | Starting $T_{ch}=25^{\circ}\text{C}$ $T_{ch}\leq 150^{\circ}\text{C}$ | 19         | A                  |
| 単発アバランシェエネルギー | $E_{AS}$ | Starting $T_{ch}=25^{\circ}\text{C}$ $T_{ch}\leq 150^{\circ}\text{C}$ | 40         | mJ                 |

## 1-1-2. 電氣的・熱的特性

表 1-3 電氣的・熱的特性 (特に記載が無い限り  $T_c=25^{\circ}\text{C}$  における規定値)

| 項目                                                       | 記号            | 用語の説明                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ドレイン・ソース間降伏電圧<br>Drain to Source Breakdown Voltage       | $V_{(BR)DSS}$ | ゲート・ソース間を短絡した状態で、規定の条件にてドレイン電流を流した時のドレイン・ソース間の電圧                                                                                               |
| ドレイン遮断電流<br>Zero Gate Voltage Drain Current              | $I_{DSS}$     | ゲート・ソース間を短絡した状態で、規定の条件にてドレイン・ソース間電圧を印加した時のドレインに流れる電流                                                                                           |
| ゲート漏れ電流<br>Gate-Source Leakage Current                   | $I_{GSS}$     | ドレイン・ソース間を短絡した状態で、規定の条件にてゲート・ソース間に電圧を印加した時のゲート流れる電流                                                                                            |
| 順伝導コンダクタンス<br>Forward transconductance                   | $g_{fs}$      | 規定の条件にて、ドレイン・ソース間電圧及び、ドレイン電流を印加したときの、ゲート・ソース間電圧の変化に対するドレイン電流変化の比                                                                               |
| ドレイン・ソース間オン抵抗<br>Static Drain-Source On-state Resistance | $R_{DS(ON)}$  | 規定の条件にて、素子をオン状態にしたときのドレイン・ソース間の抵抗                                                                                                              |
| ゲートしきい値電圧<br>Gate Threshold Voltage                      | $V_{TH}$      | 規定の条件にて、素子が導通し始めるのに必要なゲート・ソース間電圧                                                                                                               |
| ソース・ドレイン間ダイオード順電圧<br>Source-Drain Diode Forward Voltage  | $V_{SD}$      | ゲート・ソース間を短絡した状態で、規定の条件にて、ソース電流を流したときのソース・ドレイン間電圧                                                                                               |
| 熱抵抗<br>Thermal resistance                                | $R_{th(j-c)}$ | 規定条件にて、定常状態での熱の伝導の度合いを表す数値。印加電力 1W あたりに接合部と case(ケース)間で生じる温度差。指定の無い場合は、全素子印加。                                                                  |
|                                                          | $R_{th(j-a)}$ | 規定条件にて、定常状態での熱の伝導の度合いを表す数値。印加電力 1W あたりに接合部と ambient(周囲)間で生じる温度差。指定の無い場合は、全素子印加。                                                                |
| ゲート全電荷量<br>Total Gate Charge                             | $Q_g$         | 規定の条件にて、ゲート・ソース間に電圧を印加する際に、ゲート・ソース間電圧が 0V から規定された値に達するまでの間に必要とするゲート電荷量                                                                         |
| ゲート・ソース電荷量<br>Gate to Source Charge                      | $Q_{gs}$      | 規定の条件にて、ゲート・ソース間に電圧を印加する際に、ゲート・ソース間電圧が 0V からフラットになる値に達するまでに必要とするゲート電荷量                                                                         |
| ゲート・ドレイン電荷量<br>Gate to Drain Charge                      | $Q_{gd}$      | 規定の条件にて、ゲート・ソース間に電圧を印加する際に、ゲート・ソース間電圧がフラット状態開始から終了までの間に必要とするゲート電荷量                                                                             |
| 入力容量<br>Input Capacitance                                | $C_{iss}$     | 素子の各端子間の容量は次のようになります。<br>Cgs : ゲート・ソース間容量<br>Cds : ドレイン・ソース間容量<br>Cgd : ゲート・ドレイン間容量                                                            |
| 帰還容量<br>Reverse Transfer Capacitance                     | $C_{rss}$     | 各容量は次のようになります。<br>Ciss : Cgs + Cgd      規定の条件にて、ドレイン・ソース間が交流的に短絡されている状態でのゲート・ソース間入力静電容量                                                        |
| 出力容量<br>Output Capacitance                               | $C_{oss}$     | Crss : Cgd      規定の条件におけるドレイン・ゲート間静電容量                                                                                                         |
|                                                          |               | Coss : Cds + Cgd      規定の条件にて、ゲート・ソース間が交流的に短絡されている状態でのドレイン・ソース間出力静電容量                                                                          |
| ターンオン遅延時間<br>Turn-on Delay Time                          | $t_{d(on)}$   | 規定の条件にて、ゲート・ソース間電圧波形がピーク値の 10% に上昇した時点から、ドレイン・ソース間電圧波形がピーク値の 90% に下降するまでの時間。または、ゲート・ソース間電圧波形がピーク値の 10% に上昇した時点から、ドレイン電流波形がピーク値の 10% に上昇するまでの時間 |
| 上昇時間<br>Rise Time                                        | $t_r$         | 規定の条件にて、ドレイン・ソース間電圧波形がピーク値の 90% から 10% に下降するまでの時間。または、ドレイン電流波形がピーク値の 10% から 90% に上昇するまでの時間。                                                    |
| ターンオフ遅延時間<br>Turn-off Delay time                         | $t_{d(off)}$  | 規定の条件にて、ゲート・ソース間電圧波形がピーク値の 90% に下降した時点から、ドレイン・ソース間電圧波形がピーク値の 10% に上昇するまでの時間。または、ゲート・ソース間電圧がピーク値の 90% に下降した時点から、ドレイン電流波形がピーク値の 90% に下降するまでの時間。  |
| 降下時間<br>Fall Time                                        | $t_f$         | 規定の条件にて、ドレイン・ソース間電圧波形がピーク値の 10% から 90% に上昇するまでの時間。またはドレイン電流波形がピーク値の 90% から 10% に下降するまでの時間。                                                     |
| ダイオード逆回復時間<br>Diode Reverse Recovery Time                | $t_{rr}$      | 規定の条件にて、逆回復電流が流れ始めた時点から、逆回復電流が規定された値に達するまでの時間。                                                                                                 |
| ダイオード逆回復電荷量<br>Diode Reverse Recovery Charge             | $Q_{rr}$      | 規定の条件にて、逆回復電流が流れ始めた時点から、逆回復電流が規定された値に達するまでの間の逆回復電流の時間積分値                                                                                       |

## 1-2. 電氣的特性

パワーMOSFET は電圧制御型の素子であり、ゲート電極に電圧を印加することで、ドレイン・ソース間に電流が流れます。

このため  $V_{DS}$ - $I_D$  (ドレイン・ソース間電圧とドレイン電流) 特性にはゲート電圧 ( $V_{GS}$ ) 依存性があり、図 1-1 のような特性となります。

$V_{GS}$  を 0V から上昇させることで、ドレイン電流 ( $I_D$ ) が流れ始めますが、ドレイン電圧 ( $V_{DS}$ ) が印加された状態で  $I_D$  が流れるため、 $V_{DS} \times I_D$  の電力が発生し、損失となります。

このとき  $V_{DS}$  の最小値がオン抵抗 ( $R_{DS(ON)}$ )  $\times I_D$  となり、パワーMOSFET において  $R_{DS(ON)}$  は重要なパラメータとなります。

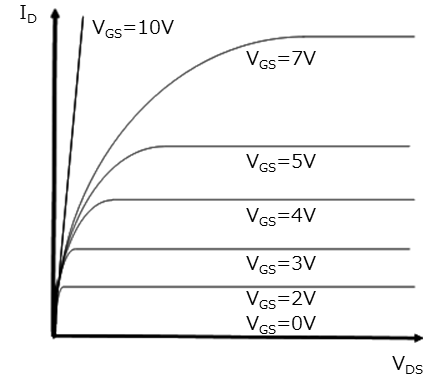


図 1-1 パワーMOSFET の電流電圧特性の例

表 1-4 パワーMOSFET の定格表 (例)

| 項 目               | 記 号           | 条 件                                                                             | 規格値 |         |           | 単位            |
|-------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|-----------|---------------|
|                   |               |                                                                                 | MIN | TYP     | MAX       |               |
| ドレイン・ソース間降伏電圧     | $V_{(BR)DSS}$ | $I_D=1mA$                                                                       | 40  | -       | -         | V             |
| ドレイン遮断電流          | $I_{DSS}$     | $V_{DS}=40V, V_{GS}=0V$                                                         | -   | -       | -         | $\mu A$       |
| ゲート漏れ電流           | $I_{GSS}$     | $V_{GS}=\pm 20V, V_{DS}=0V$                                                     | -   | -       | $\pm 0.1$ | $\mu A$       |
| 順伝達コンダクタンス        | $g_{fs}$      | $I_D=70A, V_{DS}=10V$                                                           | 30  | -       | -         | S             |
| ドレイン・ソース間オン抵抗     | $R_{DS(ON)}$  | $I_D=70A, V_{GS}=10V$                                                           | -   | 0.00117 | 0.00142   | $\Omega$      |
| ドレイン・ソース間オン抵抗     | $R_{DS(ON)}$  | $I_D=70A, V_{GS}=4.5V$                                                          | -   | 0.00185 | 0.0025    | $\Omega$      |
| ゲートしきい値電圧         | $V_{th}$      | $I_D=1mA, V_{DS}=10V$                                                           | 1.5 | 2       | 2.5       | V             |
| ソース・ドレイン間ダイオード順電圧 | $V_{SD}$      | $I_S=140A, V_{GS}=0V$                                                           | -   | -       | 1.5       | V             |
| 熱抵抗               | $R_{th(j-c)}$ | Junction to case, with heatsink                                                 | -   | -       | 0.69      | $^{\circ}C/W$ |
|                   | $R_{th(j-a)}$ | Junction to ambient                                                             | -   | -       | 100       | $^{\circ}C/W$ |
| ゲート全電荷量           | $Q_g$         | $V_{DD}=32V, V_{GS}=10V, I_D=140A$                                              | -   | 122     | -         | nC            |
| ゲート・ソース電荷量        | $Q_{gs}$      | $V_{DD}=32V, V_{GS}=10V, I_D=140A$                                              | -   | 24      | -         | nC            |
| ゲート・ドレイン電荷量       | $Q_{gd}$      | $V_{DD}=32V, V_{GS}=10V, I_D=140A$                                              | -   | 37      | -         | nC            |
| 入力容量              | $C_{iss}$     | $V_{DS}=25V, V_{GS}=0V, f=1MHz$                                                 | -   | 6630    | -         | pF            |
| 帰還容量              | $C_{rss}$     | $V_{DS}=25V, V_{GS}=0V, f=1MHz$                                                 | -   | 405     | -         | pF            |
| 出力容量              | $C_{oss}$     | $V_{DS}=25V, V_{GS}=0V, f=1MHz$                                                 | -   | 805     | -         | pF            |
| ターンオン遅延時間         | $t_d(on)$     | $I_D=70A, R_L=0.29\Omega, V_{DD}=20V, R_G=0\Omega, V_{GS}(+)=10V, V_{GS}(-)=0V$ | -   | 7.5     | -         | ns            |
| 上昇時間              | $t_r$         | $I_D=70A, R_L=0.29\Omega, V_{DD}=20V, R_G=0\Omega, V_{GS}(+)=10V, V_{GS}(-)=0V$ | -   | 18      | -         | ns            |
| ターンオフ遅延時間         | $t_d(off)$    | $I_D=70A, R_L=0.29\Omega, V_{DD}=20V, R_G=0\Omega, V_{GS}(+)=10V, V_{GS}(-)=0V$ | -   | 139     | -         | ns            |
| 降下時間              | $t_f$         | $I_D=70A, R_L=0.29\Omega, V_{DD}=20V, R_G=0\Omega, V_{GS}(+)=10V, V_{GS}(-)=0V$ | -   | 51      | -         | ns            |
| ダイオード逆回復時間        | $t_{rr}$      | $I_F=140A, V_{GS}=0V, di/dt=100A/\mu s$                                         | -   | 44      | -         | ns            |
| ダイオード逆回復電荷量       | $Q_{rr}$      | $I_F=140A, V_{GS}=0V, di/dt=100A/\mu s$                                         | -   | 52      | -         | nC            |

### 1-2-1. ドレイン・ソース間電圧 $V_{DS}$

ドレイン・ソース間電圧  $V_{DS}$  は温度依存があり、低温時には低下します。  
この点について留意して使用する必要があります。

### 1-2-2. 出力特性 $V_{DS}$ - $I_D$

一般的な MOSFET の出力特性（例 1）を図 1-2 に示します。  
縦軸をドレイン電流  $I_D$ 、横軸をドレイン電圧  $V_{DS}$  としたグラフで表しています。

MOSFET の出力特性には線形領域と飽和領域があります。

|      |                                                 |
|------|-------------------------------------------------|
| 線形領域 | ドレイン・ソース間電圧 $V_{DS}$ が増加するとドレイン電流 $I_D$ が増加する領域 |
| 飽和領域 | ドレイン・ソース間電圧 $V_{DS}$ によらずドレイン電流 $I_D$ が一定となる領域  |

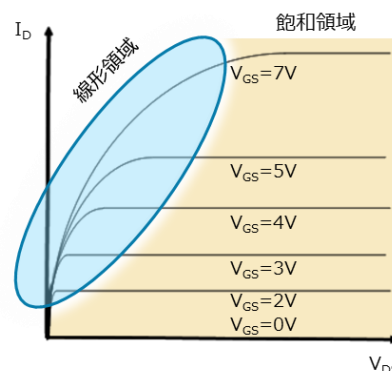


図 1-2 出力特性（例 1）

パワー MOSFET の出力特性の例を図 1-3 に示します。

パワー MOSFET は一般的な MOSFET と比較し、ゲート電圧  $V_{GS}$  に対する応答がよくオン抵抗  $R_{DS(ON)}$  が低いいため、出力特性に現れる飽和領域はほぼありません。

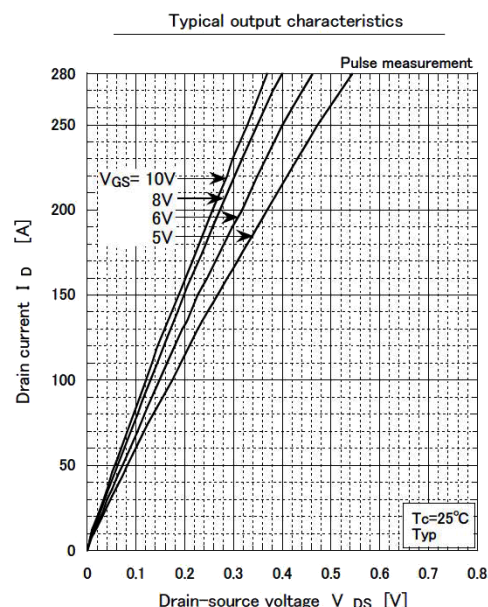


図 1-3 出力特性（例 2）

### 1-2-3. 伝達特性 $V_{GS}$ - $I_D$

伝達特性  $V_{GS}$ - $I_D$  とは、ドレイン・ソース間電圧  $V_{DS}$  を一定とした時に、どれぐらいのゲート・ソース間電圧を印加すれば所望のドレイン電流  $I_D$  を流すことができるかを表した特性です。

ゲート・ソース間電圧  $V_{GS}$  が増加すると、チャネルに集まる電子の密度が高くなるので、チャネルの電気抵抗が低くなり、より大きな電流が流れます。

また伝達特性には温度特性があり、一般的には温度が高い方が同じ  $V_{GS}$  でもより大きな電流が流れます。

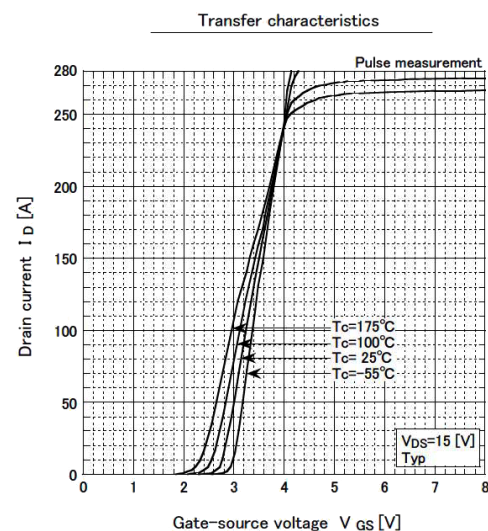


図 1-4 伝達特性の例

#### 1-2-4. オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ 特性

オン抵抗  $R_{DS(ON)}$  は  $V_{DS}/I_D$  で表されるパラメータであり、図 1-3 の出力特性の傾きのことを指します。

$R_{DS(ON)}$  は電流  $I_D$  に対してある程度一定の値となりますが、大きい  $I_D$  の領域において上昇する傾向を持ちます。

これは電流の流す道筋において、最大で流すことのできる電流があり、そこを超えると電流が流しづらくなるためです。

また、 $R_{DS(ON)}$  は図 1-6 のように温度特性があり、高温時は  $R_{DS(ON)}$  が上昇するため、発熱計算においては注意する必要があります。

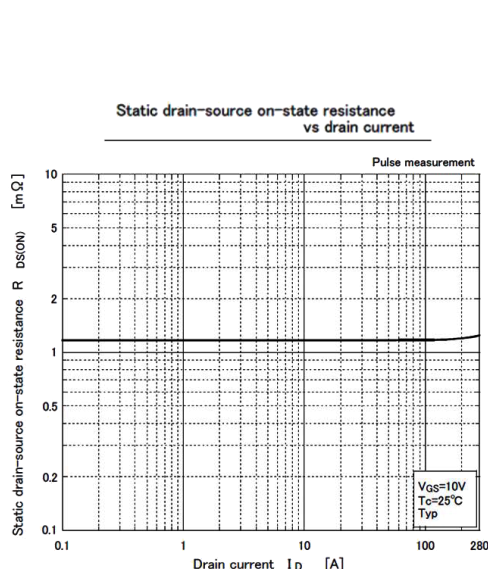


図 1-5  $R_{DS(ON)}$  の電流特性の例

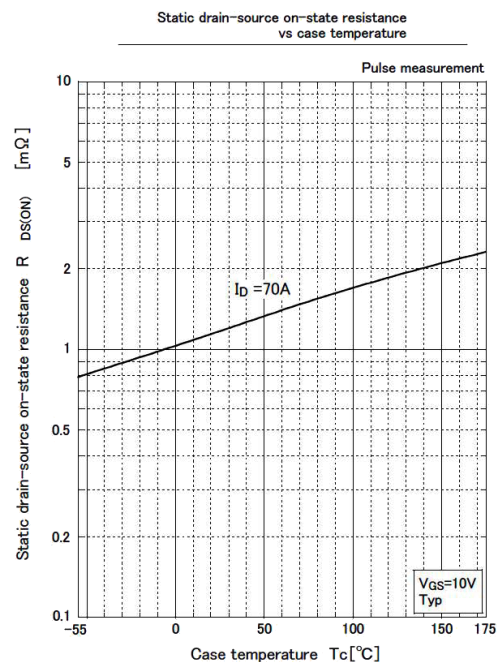


図 1-6  $R_{DS(ON)}$  の温度特性の例

#### 1-2-5. $R_{DS(on)}$ - $V_{GS}$ 曲線について

オン抵抗  $R_{DS(on)}$  はゲート電圧  $V_{GS}$  依存性があり、低い  $V_{GS}$  では上昇します。

この上昇する  $V_{GS}$  はしきい値電圧  $V_{TH}$  に依存しており、 $V_{TH}$  は負の温度依存性があるため、低温では高電圧側にシフトし、高温では定電圧側にシフトします。

この温度依存性を考慮して、ゲート電極に印加する電圧を適切に判断する必要があります。

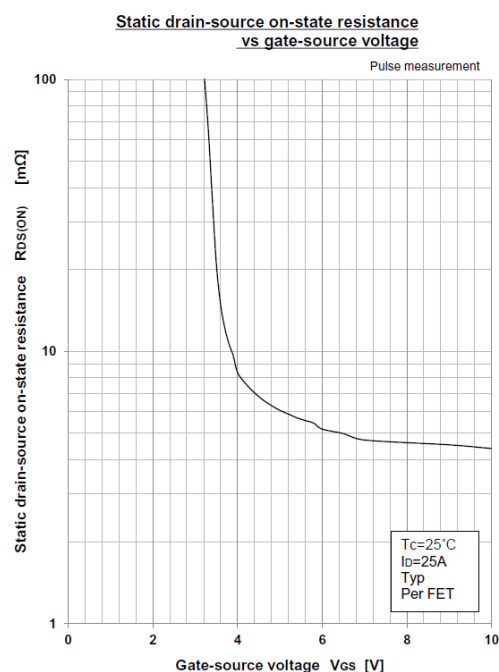


図 1-7  $R_{DS(on)}$ - $V_{GS}$  曲線の例

### 1-2-6. しきい値電圧 $V_{TH}$

しきい値電圧  $V_{TH}$  はドレイン・ソース間に規定電流が流れるときのゲート電圧を指します。

このため、この電圧でデジタル的にオン・オフする電圧ではありません。また、 $V_{TH}$  は温度特性を持っており、高温時には下降し、低温時には上昇します。

このため、低温時のオン動作時・高温時のオフ動作時にはゲート電圧  $V_{GS}$  の値に注意する必要があります。

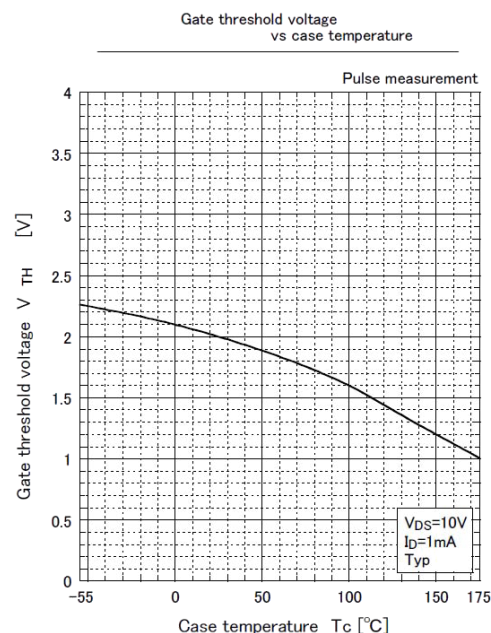


図 1-8  $V_{TH}$  の温度特性の例

### 1-2-7. 容量特性 $C_{iss}$ , $C_{rss}$ , $C_{oss}$

容量特性の入力容量  $C_{iss}$ 、帰還容量  $C_{rss}$ 、出力容量  $C_{oss}$  は下記の式で表されます。

$$C_{iss} = C_{GS} + C_{GD}$$

$$C_{rss} = C_{GD}$$

$$C_{oss} = C_{DS} + C_{GD}$$

$C_{GS}$  : ゲート・ソース間容量  
 $C_{GD}$  : ゲート・ドレイン間容量  
 $C_{DS}$  : ドレイン・ソース間容量

なお、図 1-8 に示すとおり、容量特性には  $V_{DS}$  依存がありますのでご注意ください。

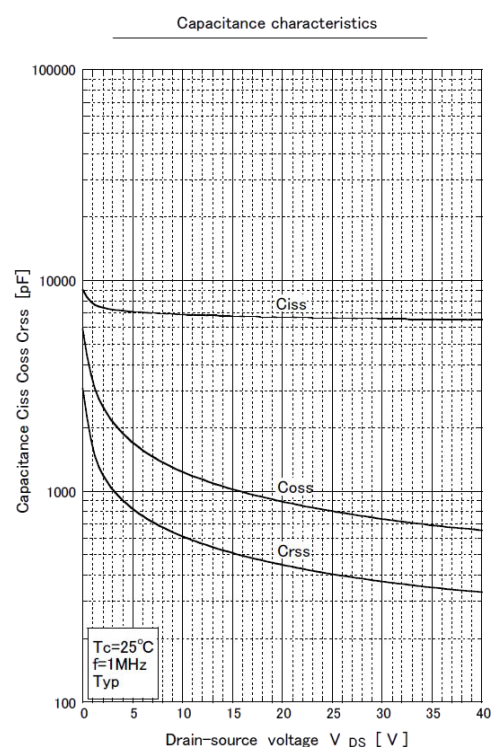


図 1-9 容量特性の  $V_{DS}$  依存の例

### 1-2-8. スイッチング特性 $t_{d(on)}$ , $t_r$ , $t_{d(off)}$ , $t_f$

スイッチング特性は下記の4つの時間に分けて定義されます。

ターンオン遅延時間:  $t_{d(on)}$

$V_{GS}$ の立ち上がり時の10%に上昇した時点から  $V_{DS}$ が90%まで低下した時間。

上昇時間:  $t_r$

$V_{DS}$ が90%から10%まで低下した時間。

ターンオフ遅延時間:  $t_{d(off)}$

$V_{GS}$ が90%まで低下した時間を起点に  $V_{DS}$ が10%まで上昇した時間。

降下時間:  $t_f$

$V_{DS}$ が10%から90%まで上昇した時間。

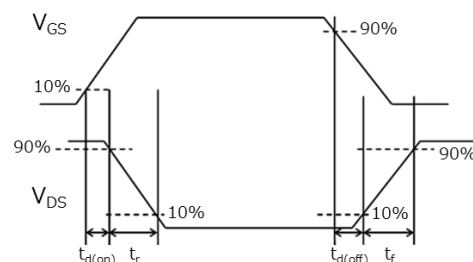


図 1-10 スイッチング時間の定義

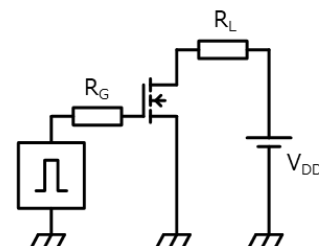


図 1-11 スイッチング測定回路

### 1-2-9. ゲートチャージ特性 $Q_g$

ゲートチャージ特性はゲート電極に一定電流を流したときに、規定のゲート電圧  $V_{GS}$  に達するまでの時間を計測して定義されます。

なお、ゲートチャージ特性は3つのパラメータで表されます。

|          |                                           |
|----------|-------------------------------------------|
| $Q_{gs}$ | ゲート電極に電圧を印加してからミラー期間の手前までの電荷量             |
| $Q_{gd}$ | ミラー期間の電荷量                                 |
| $Q_g$    | ゲート電極を印加してから規定のゲート電圧 $V_{GS}$ まで達するまでの電荷量 |

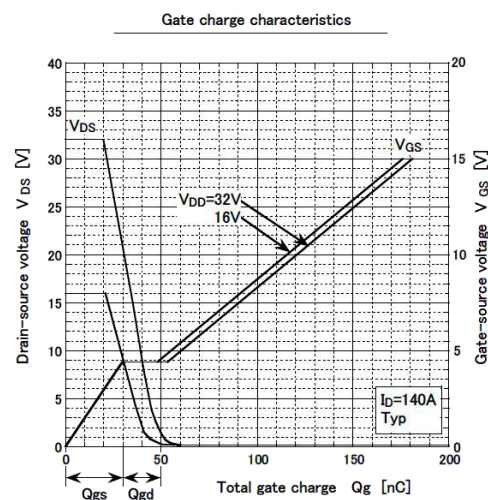


図 1-12 ゲートチャージ特性の例

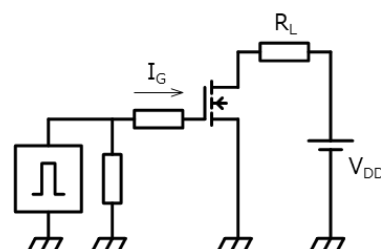


図 1-13 ゲートチャージ測定回路

### 1-2-10. 安全動作領域 SOA

安全動作領域 SOA とは Safe Operating Area の略で、MOSFET が安全に動作できる  $V_{DS} \cdot I_D$  の領域を表します。

このため MOSFET の動作条件に関して SOA の範囲内で使用する必要があります。

なお、SOA は下記の5つの領域によって表現されます。

- |   |                                                     |
|---|-----------------------------------------------------|
| ① | $R_{DS(ON)}$ 制限領域: $R_{DS(ON)max}$ による制限            |
| ② | $I_D$ 制限領域: 絶対最大定格の $I_D$ による制限                     |
| ③ | 全損失制限領域: 絶対最大定格の全損失による制限                            |
| ④ | 二次降伏制限領域: バイポーラトランジスタの二次降伏に似た制限                     |
| ⑤ | ドレイン・ソース間電圧 $V_{DSS}$ 制限領域: 絶対最大定格の $V_{DSS}$ による制限 |

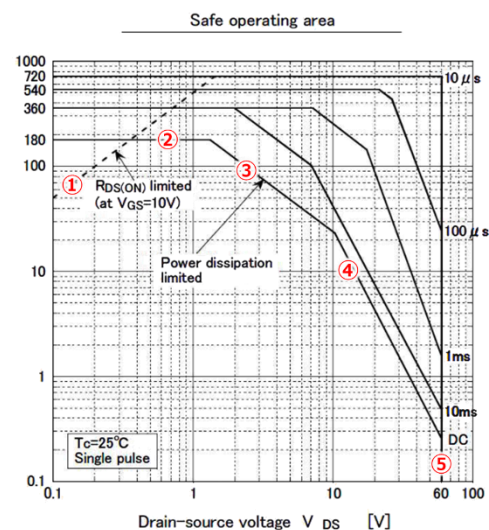


図 1-14 安全動作領域の例

### 1-2-11. アバランシェ特性

インジェクタやイグナイタなどに MOSFET を使用すると、オフしたときにインダクタンス (L) 成分の逆起電力によって大きな電圧が発生し、MOSFET の耐圧を超えて印加されることをアバランシェ状態と言います。

このときどれぐらいのエネルギーが許容されるかが絶対最大定格の単発アバランシェエネルギー  $E_{AS}$  となります。

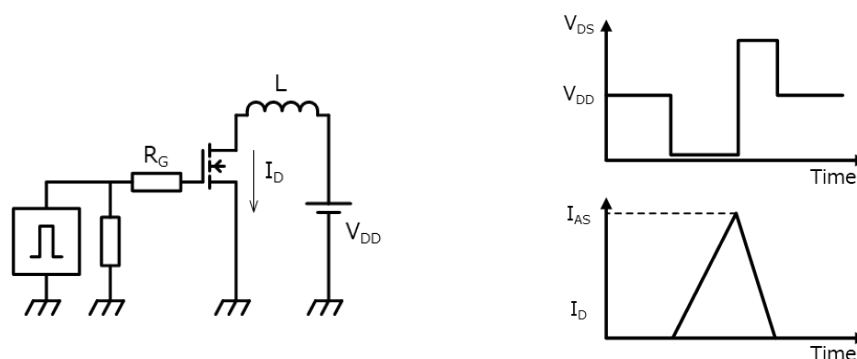


図 1-15 アバランシェ測定回路とアバランシェ波形の例

### 1-2-12. $dv/dt$ , $di/dt$ 特性

内蔵ダイオードに順電流が流れている状態で、逆方向に電圧を反転させると逆回復動作に入ります。この時の単位時間当たりの電流の下降度合いを  $di/dt$ 、単位時間当たりの電圧の上昇度合いを  $dv/dt$  と呼びます。

指定の条件下でのリカバリー電流時間を逆回復時間  $t_{rr}$ 、電荷量を逆回復電荷量  $Q_{rr}$  と呼びます。

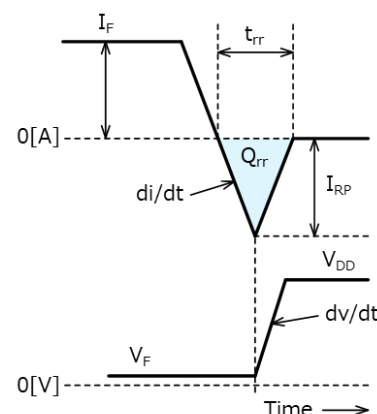


図 1-16 リカバリー電流、電圧波形の例

### 1-2-13. 静電気耐量(ESD: Electrostatic Discharge)について

静電気耐量(ESD)について MOSFET で議論されるモードは以下のものがあります。

人体帯電モデル(HBM) : 人体が帯電していて MOSFET の電極に静電気が放電されるモード

なお、MOSFET においてはゲートが薄い絶縁膜を介して構成されており、これにより ESD に対してゲート端子が最も弱い端子となるため、お取り扱いにご注意ください。

### 1-2-14. ディレーティング曲線について

通常データシートに記載される SOA は  $T_C = 25^\circ\text{C}$  で規定されるため、ご使用環境の  $T_C$  に変換して使用する必要があります。

これがディレーティング曲線になります。

全損失の温度ディレーティング曲線の例を図 1-16 に示します。

絶対最大定格の  $P_T$  を全損失ディレーティング曲線により印加可能な  $P_T$  を算出し、印加されるドレイン電流  $I_D$  とオン抵抗  $R_{DS(ON)}$  によって算出された電力を比較し、判定いたします。

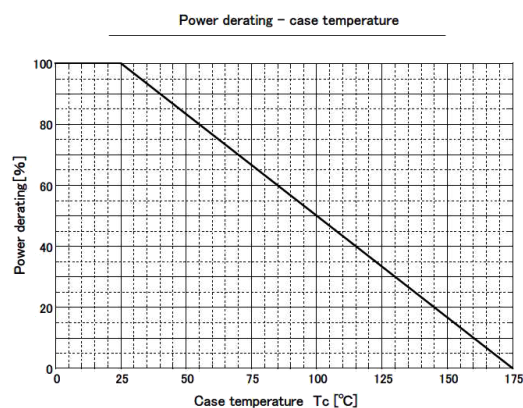


図 1-17 全損失ディレーティング曲線

### 1-2-15. アバランシェディレーティング曲線について

絶対最大定格に記載の単発アバランシェエネルギー  $E_{AS}$  はスタートチャネル温度が  $25^\circ\text{C}$  のため、ご使用環境のスタートチャネル温度に変換して使用する必要があります。

これがアバランシェディレーティング曲線です。

絶対最大定格の  $E_{AS}$  をアバランシェディレーティング曲線によって印加可能なアバランシェエネルギーを算出し、印加されるアバランシェエネルギーを比較し、判定いたします。

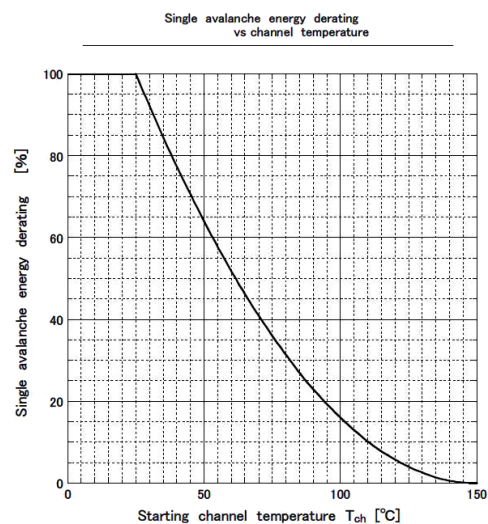


図 1-18 アバランシェディレーティング曲線

### 1-2-16. 熱抵抗について

熱抵抗とは温度の伝えにくさを表す値で、単位時間での発熱量当たりの温度上昇量を意味します。単位は $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ で表されます。発熱に関する疑似的等価回路は右図のような形で表され、発熱点で発した熱が、チップの熱抵抗  $R_{\text{th}}$  (チップ)、はんだの熱抵抗  $R_{\text{th}}$  (はんだ)、ケースの熱抵抗  $R_{\text{th}}$  (ケース) を通って熱が伝わります。このときのケース温度  $T_c$  を  $25^{\circ}\text{C}$  と定義したときの飽和熱抵抗が  $R_{\text{th}}(j_c)$  となります。

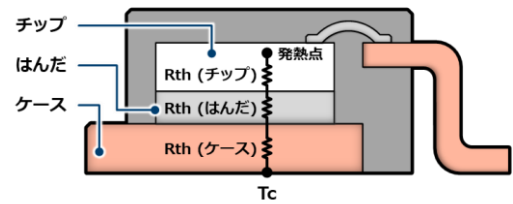


図 1-19 発熱に関する疑似的等価回路

### 1-2-17. 過渡熱抵抗について

過渡熱抵抗とは温度の伝えにくさを表す熱抵抗の経時変化を意味します。発熱に関する疑似的等価回路は図 1-19 で表されるため、発熱点で発熱した熱が時間を経るごとに伝導し、各部位の熱抵抗を通過するにしたがって上昇します。

このときのケース温度  $T_c$  を  $25^{\circ}\text{C}$  と定義したときの熱抵抗の時間変化が  $Z_{\text{th}}(j_c)$  となります。

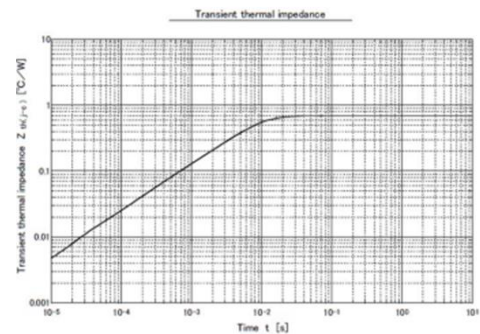


図 1-20 過渡熱抵抗特性図の例