

ディスクリットIGBT

Application Manual

注意

1. この資料の内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2025年12月現在のものです。この内容は製品の仕様変更のため、または他の理由により事前の予告なく変更されることがあります。この資料に記載されている製品を使用する場合には、その製品の最新版の仕様書を入手して、データを確認してください。
2. 本資料に記載してある応用例は富士電機製品を使用した代表的な応用例を説明するものであり、本資料によって工業所有権、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。
3. 富士電機は絶えず製品の品質と信頼性の向上に努めています。しかし、半導体製品は故障が発生したり、誤動作する場合があります。富士電機製半導体製品の故障または誤動作が、結果として人身事故、火災等による財産に対する損害や、社会的な損害を起こさないように冗長設計、延焼防止設計、誤動作防止設計などの安全確保をお客様の責任において行ってください。
4. 本資料に記載している製品は、普通の信頼度が要求される下記のような電子機器や電気機器に使用されることを意図して造られています。
 - ・コンピュータ・OA機器・通信機器(端末)・計測機器・工作機械
 - ・オーディオビジュアル機器・家庭用電気製品・パーソナル機器・産業用ロボットなど
5. 本仕様書に記載されている製品は、人命に関わるような状況下で使用される機器あるいはシステムに用いられる事を目的として設計・製造されたものではありません。以下に示す機器あるいはシステムへの適用に関し、富士電機は一切の責任を負いません。
 - ・幹線用通信機器・交通信号機・医療機器
 - ・ガス警報器および遮断機・防災/防犯装置・安全確保のための各種装置
6. 極めて高い信頼度を要求される下記のような機器および戦略物資に該当する機器には、本仕様書に記載の製品を使用しないでください。
 - ・車両機器(自動車、鉄道、船舶など)・宇宙機器・航空機搭載用機器
 - ・原子力制御機器・海底中継機器
7. 本資料の一部または全部の転載複製については、文書による弊社の承諾が必要です。
8. 本資料の内容にご不明の点がありましたら、製品を使用する前に富士電機(株)または、その販売店へ質問してください。本注意書きの指示に従わないために生じたいかなる損害も富士電機(株)とその販売店は責任を負うものではありません。

第2章 用語と特性

| | |
|-------------------|-----|
| 1. 用語説明 | 2-2 |
| 2. ディスクリートIGBTの特性 | 2-5 |

本章では、ディスクリートIGBTに関する用語および特性について説明します。

1. 用語説明

以下に、XSシリーズのデータシートに使用している用語について説明します。詳細は納入仕様書をご確認ください。

表2-1 絶対最大定格(Absolute Maximum Ratings)

| 用語 | 記号 | 定義および説明(条件は各製品の仕様書を参照してください) |
|---|-----------------|--|
| コレクタ-エミッタ間電圧 (Collector-Emitter Voltage) | V_{CES} | ゲート(以下G)-エミッタ(以下E)間を短絡した状態でコレクタ-エミッタ間に印加できる最大電圧 |
| ゲート-エミッタ間電圧 (Gate-Emitter Voltage) | V_{GES} | コレクタ(以下C)-Eを短絡した状態でG-E間に印加できる最大電圧 |
| コレクタ電流 (Collector Current) | $I_{C@25}$ | $T_c=25^{\circ}\text{C}$ 時にIGBTに流すことができる最大直流コレクタ電流 |
| | $I_{C@100}$ | $T_c=100^{\circ}\text{C}$ 時にIGBTに流すことができる最大直流コレクタ電流 |
| | I_{CP} | IGBTに流すことができる最大パルスコレクタ電流 |
| 内蔵ダイオード順方向電流 (Diode Forward Current) | $I_{F@25}$ | $T_c=25^{\circ}\text{C}$ 時に内蔵ダイオード(以下、FWD)に流すことができる最大直流順方向電流 |
| | $I_{F@100}$ | $T_c=100^{\circ}\text{C}$ 時にFWDに流すことができる最大直流順方向電流 |
| | I_{FP} | FWDに流すことができる最大パルス順方向電流 |
| IGBT最大損失 (Collector Power Dissipation) | P_{tot_IGBT} | $T_c=25^{\circ}\text{C}$ 時にIGBTで許容する最大電力損失 |
| 内蔵ダイオード最大損失 (FWD Power Dissipation) | P_{tot_FWD} | $T_c=25^{\circ}\text{C}$ 時にFWDで許容する最大電力損失 |
| 接合部温度 (Operating Junction Temperature) | T_{vj} | 素子が異常を引き起こさず動作できる接合部の最高温度 (装置の最悪条件下にて、この値を超えない設計が必要) |
| 保存温度 | T_{stg} | 電極に電氣的負荷をかけずに保存、または輸送できる温度範囲 |

注1:特に規定のない限り $T_{vj}=25^{\circ}\text{C}$ の値を記載しています。

注2: 最大定格として記載されている値は、いかなる場合もこれを超えてはなりません。

表2-2 静特性

| 用語 | 記号 | 定義および説明 |
|--|---------------|---|
| コレクタ-エミッタ間遮断電流 (Zero Gate Voltage Collector Current) | I_{CES} | G-E間を短絡した状態で、C-E間に指定の電圧を印加したときのC-E間の漏れ電流 |
| ゲート-エミッタ間漏れ電流 (Gate-Emitter Leakage Current) | I_{GES} | C-E間を短絡した状態で、G-E間に指定の電圧を印加したときのゲート漏れ電流 |
| ゲート-エミッタ間しきい値電圧 (Gate-Emitter Threshold Voltage) | $V_{GE(th)}$ | 指定C-E間電流(以下 I_C)とC-E間電圧(以下 V_{CE})におけるG-E間電圧(以下 V_{GE})(C-E間に微小電流が流れ始める V_{GE} 値、IGBTがオンし始める V_{GE} の尺度として用いられる) |
| コレクタ-エミッタ間飽和電圧 (Collector-Emitter Saturation Voltage) | $V_{CE(sat)}$ | 指定の V_{GE} において定格の I_C を流した時の V_{CE} 値 |

表2-3 動特性

| 用語 | 記号 | 定義および説明 |
|--|--------------|---|
| 入力容量 (Input Capacitance) | C_{ies} | C-E間を交流的に短絡した状態で、G-E間およびC-E間に指定の電圧を印加した時のG-E間容量 |
| 出力容量 (Output Capacitance) | C_{oes} | G-E間を交流的に短絡した状態で、G-E間およびC-E間に指定の電圧を印加した時のC-E間容量 |
| 帰還容量 (Reverse Transfer Capacitance) | C_{res} | G-E間、C-E間を交流的に短絡した状態でG-E間およびC-E間に指定の電圧を印加した時のC-G間容量 |
| ゲート電荷量 (Gate Charge) | Q_G | V_{GE} を指定された低い値から高い値まで上昇させるために必要な充電電荷量 |
| ターンオン遅れ時間 (Turn-On Delay Time) | $t_{d(on)}$ | IGBTのターンオン時に V_{GE} が最大値の10%に達してから、 I_C が最大値の10%に達するまでの時間(図2-3参照) |
| 立上り時間 (Rise Time) | t_r | IGBTのターンオン時に、 I_C が最大値の10%に上昇した時点から、最大値の90%に達するまでの時間(図2-3参照) |
| ターンオフ遅れ時間 (Turn-Off Delay Time) | $t_{d(off)}$ | IGBTのターンオフ時に V_{GE} が最大値の90%に達してから、 I_C が90%に達するまでの時間(図2-3参照) |
| 立下り時間 (Fall Time) | t_f | IGBTのターンオフ時に、 I_C が最大値の90%から、10%に下降するまでの時間(図2-3参照) |
| ターンオン損失 (Turn-On Energy) | E_{on} | IGBTのターンオン時に発生する損失(図2-3参照) |
| ターンオフ損失 (Turn-Off Energy) | E_{off} | IGBTのターンオフ時に発生する損失(図2-3参照) |

表2-4 FWD特性

| 用語 | 記号 | 定義および説明 |
|---|----------|---|
| ダイオード順電圧 (Forward Voltage Drop) | V_F | FWDに指定の順方向電流を流したときの順方向電圧 |
| 逆回復時間 (Diode Reverse Recovery Time) | t_{rr} | FWDのターンオフ時に、電流が0Aを横切った時点から、逆回復ピーク電流の10%に回復するまでの時間(図2-4参照) |
| 逆回復電荷量 (Diode Reverse Recovery Charge) | Q_{rr} | FWDの逆回復電流の時間積分値として計算される電荷量 |

表2-5 熱的特性(Thermal Characteristics)

| 用語 | 記号 | 定義および説明 |
|--|----------------------|------------------------------|
| 素子接合部-周囲間熱抵抗 (Thermal Resistance, Junction to Ambient) | $R_{th(j-a)}$ | ヒートシンクを取付けず無風状態でのチップ-周囲間の熱抵抗 |
| IGBT素子接合部-ケース間熱抵抗 (Thermal Resistance, IGBT Junction to Case) | $R_{th(j-c)}_{IGBT}$ | チップ-ケース間の熱抵抗(IGBT) |
| FWD素子接合部-ケース間熱抵抗 (Thermal Resistance, FWD Junction to Case) | $R_{th(j-c)}_{FWD}$ | チップ-ケース間の熱抵抗(FWD) |

2. ディスクリートIGBTの特性

ディスクリートIGBT製品にはIGBTと逆並列にFWDを接続している製品とIGBT単体の製品があります。FGZ75XS120C(1200V/75A素子)を例に、仕様書などに記載しているIGBTとFWDの種々の特性の説明を以下に示します。

2.1 静特性

V_{CE} - I_C 特性(一般的に出力特性と呼ばれる)の V_{GE} 依存性を図2-1に示します。この特性はIGBTがオンしている時の V_{CE} と I_C の関係を示すもので、オン時にIGBTに発生する損失となります。従って V_{CE} が低い程、発生損失が小さくなります。この特性は T_{vj} と V_{GE} によって変化しますので、これらの特性をよく考慮した上で装置設計を行ってください。

一般的には $V_{GE}=15V$ において、装置の最大出力ピーク電流 \leq 素子の定格電流値で使用することを推奨します。

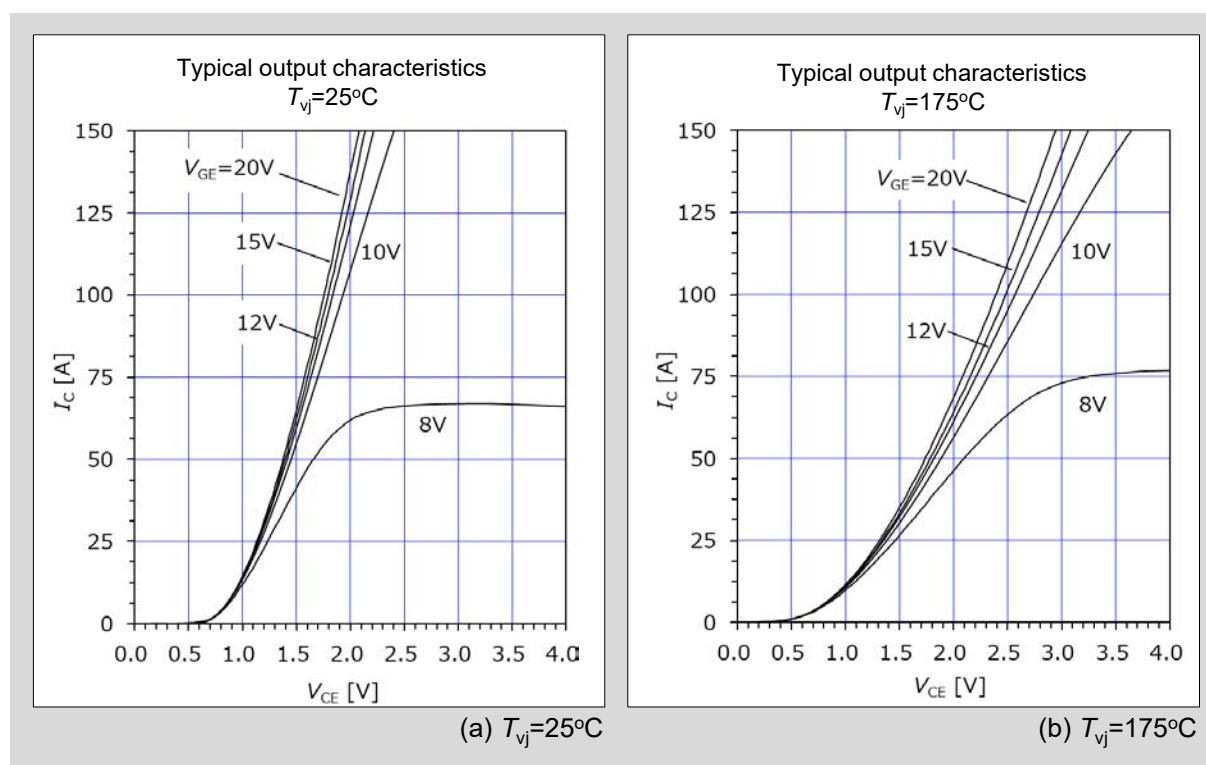


図2-1 V_{CE} - I_C 特性

2.2 スイッチング特性

IGBTは一般的にスイッチング用途に使用するため、ターンオン、ターンオフ時のスイッチング特性を十分に理解しておくことが重要です。また、この特性は種々のパラメータによって変化するため、これらも考慮に入れて装置の設計を行う必要があります。

スイッチング特性は、スイッチング時間とスイッチング損失の二つに大別することができます。これらのスイッチング特性は図2-2に示す回路で測定する事が出来ます。

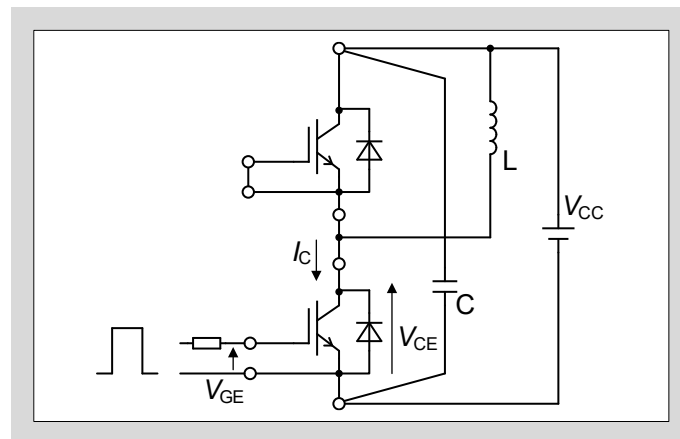


図2-2 スイッチング特性測定回路

表2-3、表2-4に記載した特性 $t_{d(on)}$ 、 t_r 、 $t_{d(off)}$ 、 t_f 、 E_{on} 、 E_{off} 、 t_{rr} に加え、 E_{rr} 、 I_{rr} の定義を図2-3と図2-4の概略波形で示します。

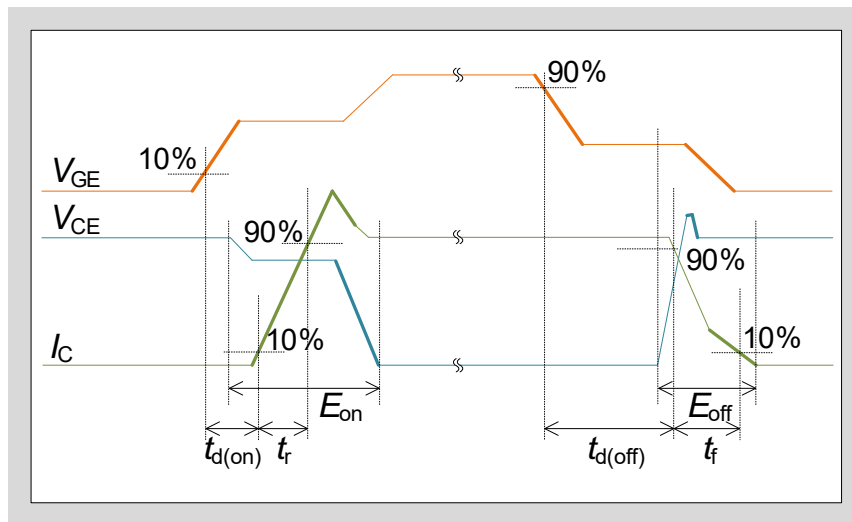


図2-3 スイッチング時間の定義 (ターンオン、ターンオフ波形)

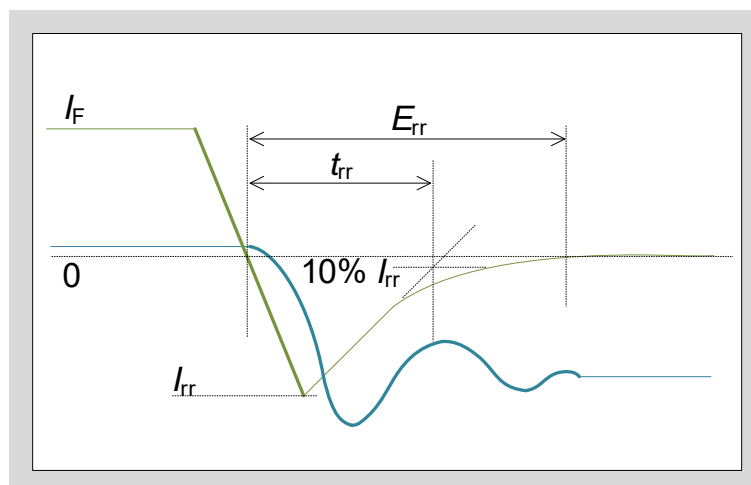


図2-4 スイッチング時間の定義 (逆回復波形)

これらのスイッチング時間と I_C の関係を図2-5に示します。また、スイッチング時間とゲート抵抗 R_G の関係を図2-6に示します。スイッチング時間は I_C 、 T_{vj} 、 R_G によって変化しますので装置設計の際は十分に考慮してください。

例えば、 $t_{d(off)}$ や t_f などのスイッチング時間が長くなる条件で使用すると、デッドタイム不足による直列アーム短絡(詳細は第4章を参照してください)などの不具合を起こし素子が破壊する可能性があります。一方、 t_f などのスイッチング時間が短すぎる条件で使用すると過渡的な電流変化 dI_C/dt が大きくなり、回路の浮遊インダクタンスによる過大なサージ電圧(=浮遊インダクタンス $\cdot dI_C/dt$)が発生します。このサージ電圧が印加電圧に重畳されるため、RBSOA(詳細は第2、4章を参照してください)を超えて素子が破壊する場合があります。したがって装置設計時には、 I_C 、 T_{vj} 、 R_G などを十分に考慮し、上記不具合が発生しないように設計する必要があります。

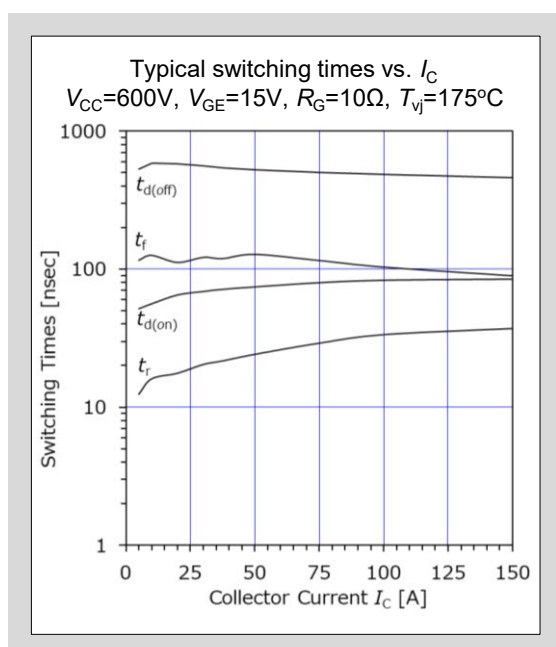


図2-5 スwitchング時間- I_C 特性

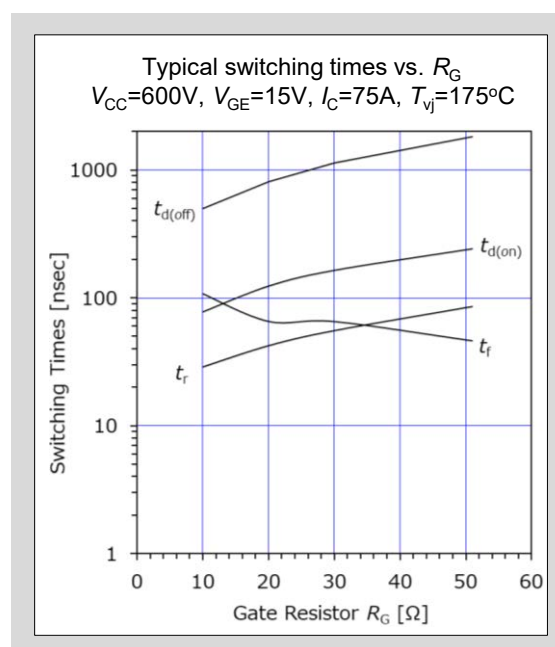


図2-6 スwitchング時間- R_G 特性

E_{on} 、 E_{off} 、 E_{rr} は、IGBTがスイッチングする際(ターンオン、オフ時)に発生します。この特性は図2-7、図2-8、図2-9に示す様に I_C 、 T_{vj} 、 R_G で変化します。特に R_G の選定は重要で、大きすぎるとスイッチング損失が大きくなる上、前述のデッドタイム不足による直列アーム短絡を起こしやすくなります。逆にスイッチング損失を小さくするために R_G を小さくする場合は、前述の過大なサージ電圧が発生する可能性があります。

R_G の選定においては浮遊インダクタンス L_S が大きく影響します。 L_S が小さければ過大なサージ電圧が発生しにくいので、 R_G 選定の検討が容易になります。したがって装置設計において、この L_S の値を出来るだけ小さく設計する事を推奨します。

なお、 R_G の決定にはIGBT駆動回路の容量とのマッチングも考慮する必要がありますので、本章2.3の容量特性を使用して十分に検討を行った上で R_G を選定してください。

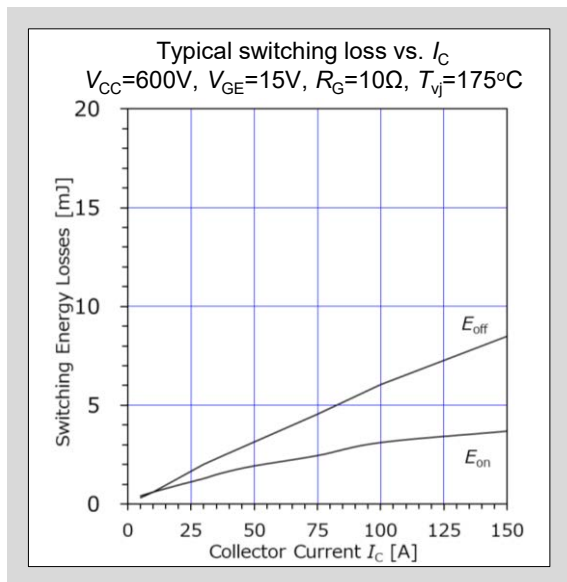


図2-7 E_{on} 、 E_{off} - I_C 特性

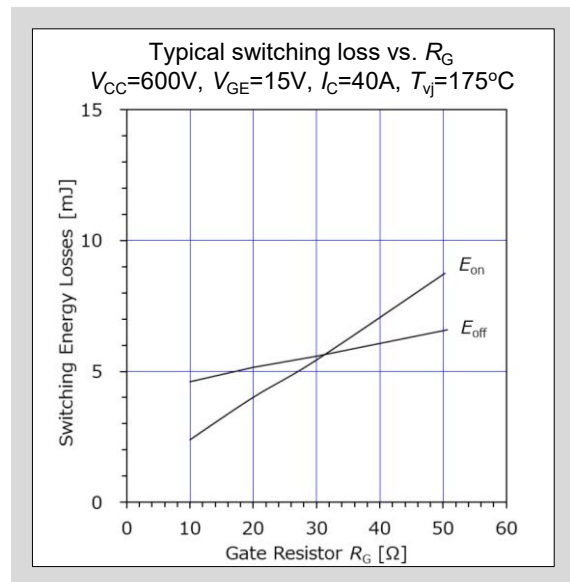


図2-8 E_{on} 、 E_{off} - R_G 特性

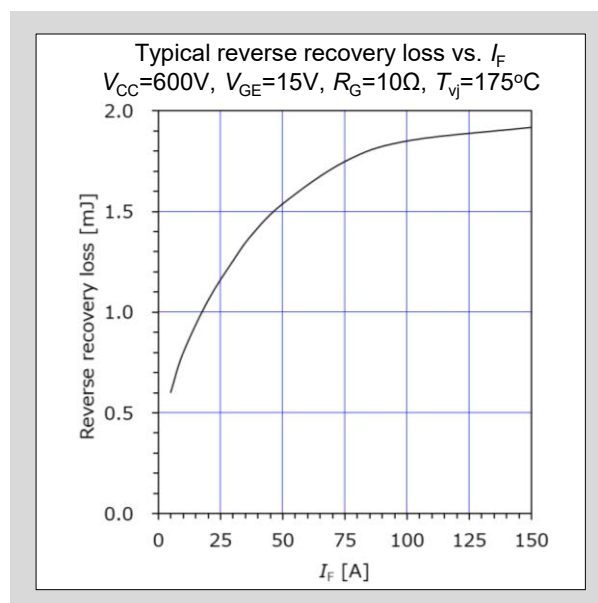


図2-9 E_{rr} - I_F 特性

2.3 容量特性

図2-10に Q_G の特性を示します。この特性は、 Q_G に対する V_{GE} の変化を示しています。「 Q_G が増加する」ことは「IGBTのG-E間の容量に電荷を充電する」ことを表すため、 Q_G が増加すると $V_{GE}(=Q_G / \text{G-E間容量})$ が上昇しIGBTがオンします。IGBTがオンすると V_{CE} がオン電圧まで下降します。このように Q_G はIGBTを駆動するために必要な電荷量を示しています。この特性は駆動回路の電源容量を決定する際に使用してください。図2-11にIGBTの各接合容量の特性を示します。また、IGBTの接合容量である C_{ies} 、 C_{oes} 、 C_{res} を図2-12に示します。これらの特性は Q_G と共に駆動回路設計の際に使用してください。

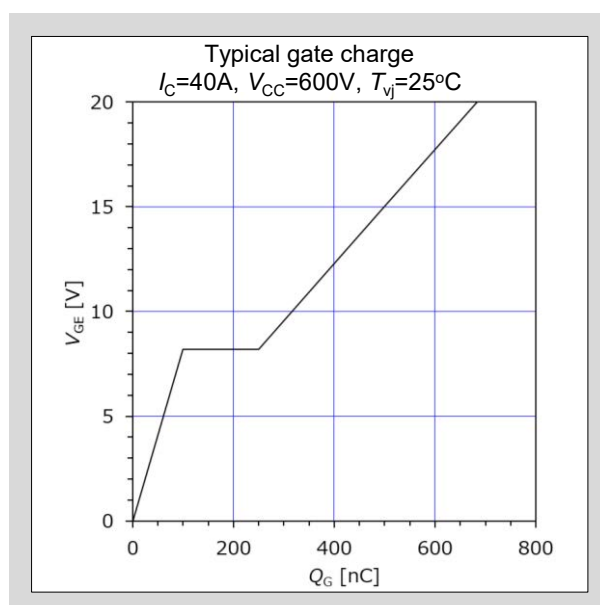


図2-10 V_{GE} - Q_G 特性

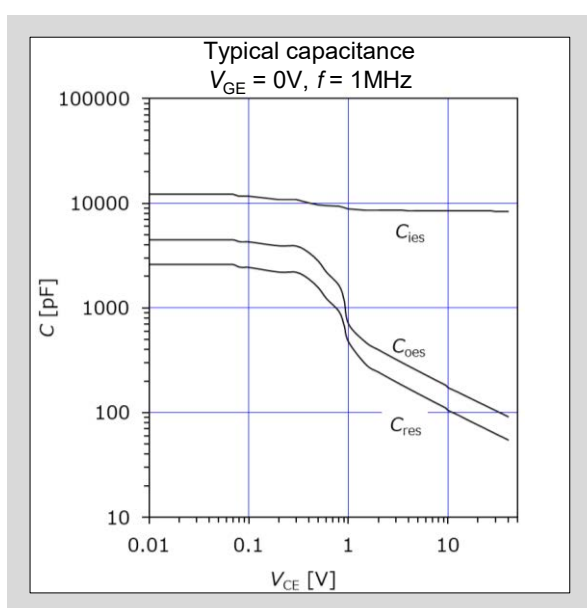


図2-11 接合容量- V_{CE} 特性

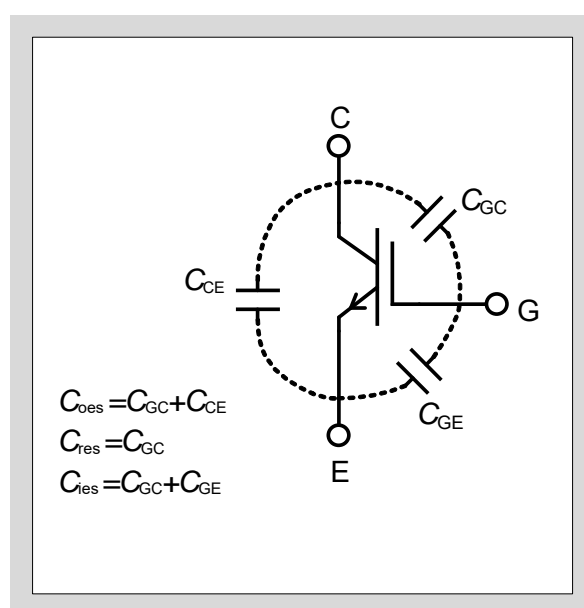


図2-12 接合容量

2.4 逆バイアス安全動作領域RBSOA

IGBTをターンオフさせる際、安全に遮断できる V_{CE} - I_C の動作範囲を逆バイアス安全動作領域RBSOA (Reverse Bias Safe Operating Area)と言います。図2-13にRBSOAの範囲を示します。ターンオフ時 V_{CE} - I_C の動作軌跡がこのRBSOAの領域に納まるように設計する必要があります。

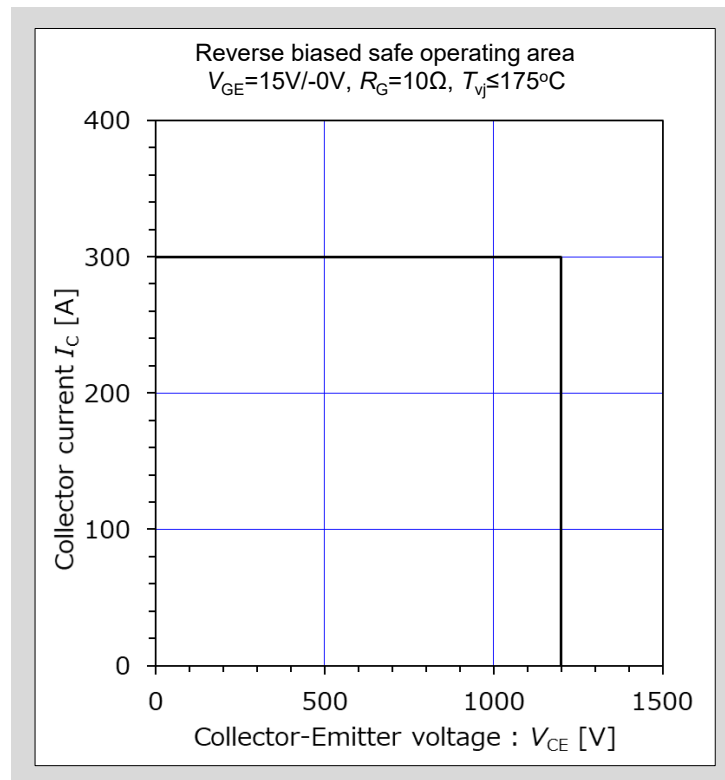


図2-13 逆バイアス安全動作領域(RBSOA)

2.5 FWDの特性

FWDを内蔵しているディスクリートIGBTの場合、FWDには図2-14に示す V_F - I_F 特性と図2-15に示す逆回復特性(t_{rr} 、 Q_{rr})、および図2-9に示す逆回復動作時の E_{rr} 特性があります。これらの特性はIGBTと同様FWDに発生する損失計算に使用します。またFWDの特性は I_F 、 T_{vj} 、 R_G などで変化するので注意が必要です。

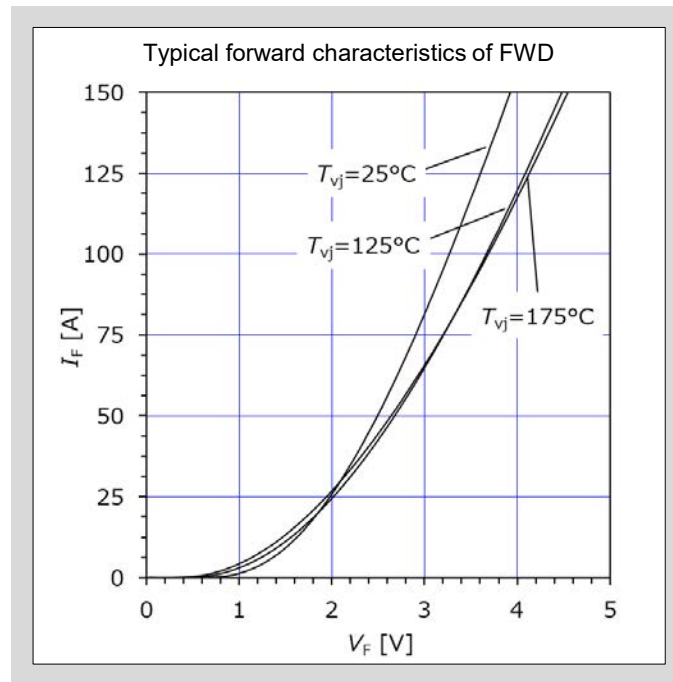


図2-14 V_F - I_F 特性

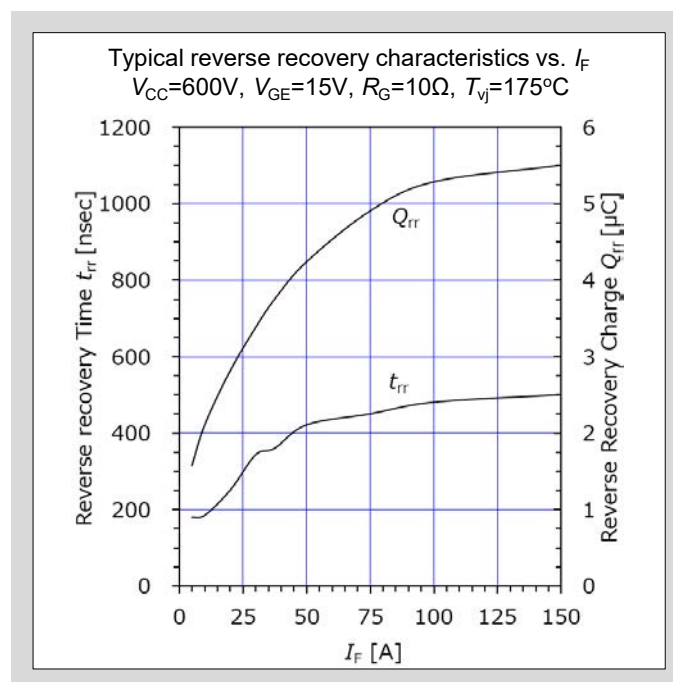


図2-15 t_{rr} , Q_{rr} 特性

2.6 過渡熱インピーダンス特性

温度上昇の計算およびヒートシンクの設計に用いる過渡熱インピーダンス特性を図2-16に示します。

この過渡熱インピーダンス特性はIGBT、FWDの T_{vj} を計算する際に使用します。(詳細は第6章を参照してください)

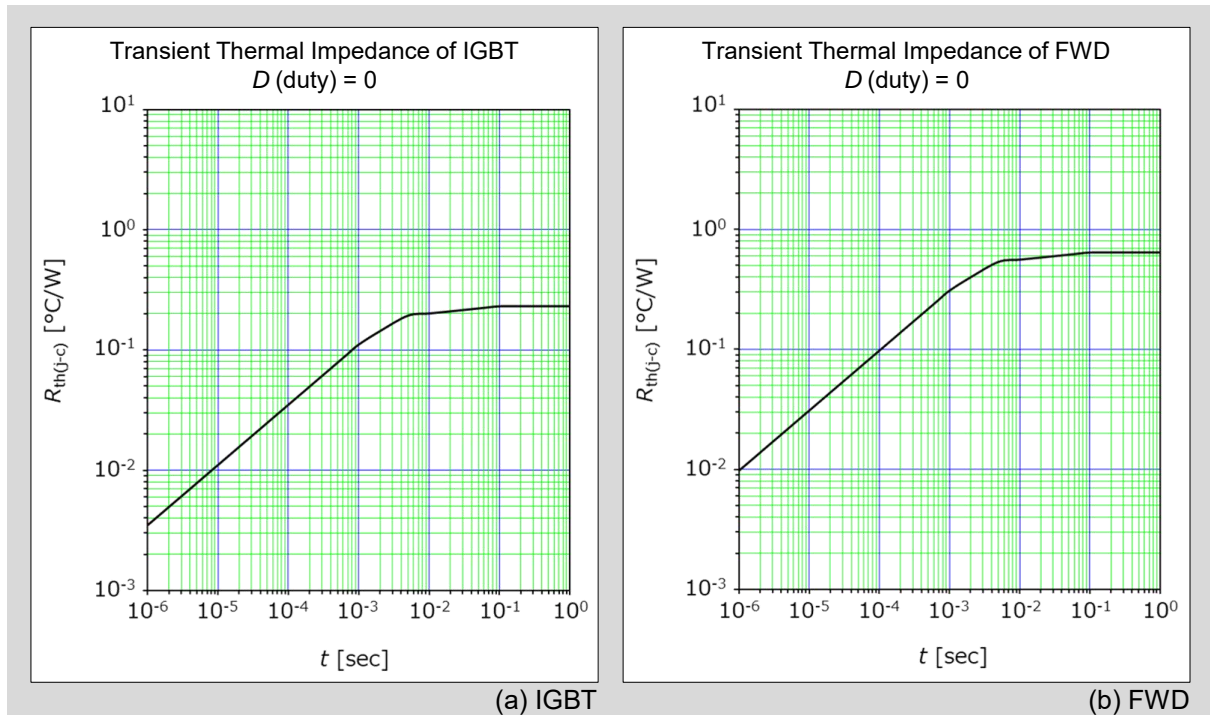


図2-16 過渡熱インピーダンス特性