

IGBT

R07AN0001JJ0410

IGBT アプリケーションノート

Rev.4.10

2018.7.13

要旨

本アプリケーションノートでは、データシートに記載された内容を中心に、IGBT の特性や基本的な使用方法について説明します。

目次

1. IGBT とは	P2
2. 用語説明	P3
2.1. 絶対最大定格	P3
2.2. 電気的特性	P4
3. 電気的特性	P5
3.1. 定格電流、許容損失	P5
3.2. 安全動作領域	P6
3.2.1 順バイアス安全動作領域	P6
3.2.2 逆バイアス安全動作領域	P7
3.3. 静特性	P7
3.4. 容量特性	P9
3.4.1. ゲートチャージ特性	P9
3.4.2. ゲートドライブ電流の決め方	P10
3.4.3. ドライブ損失の算出	P10
3.5. スイッチング特性	P11
3.6. 内蔵ダイオード特性	P13
3.6.1. ダイオードのスイッチング特性	P13
3.6.2. 内蔵ダイオードの順方向電圧特	P14
3.7. 熱抵抗特性	P15
3.8. 負荷短絡特性	P16
4. 最大接合温度 T_{jmax} の 175°C 化	P17
5. IGBT の損失	P18
5.1. 動作損失	P18
5.2. スイッチング損失	P18

1. IGBT とは

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)は、日本語では絶縁ゲート型バイポーラ・トランジスタと言われ、MOSFET の高速スイッチング、電圧駆動特性と、バイポーラ・トランジスタの低オン抵抗（低飽和電圧）特性を合わせ持ったパワートランジスタです。IGBT の図記号は、図 1 に示すように MOS ゲート構造を持つバイポーラ・トランジスタになっており、その等価回路は MOS トランジスタとバイポーラ・トランジスタが組み合わさった構成になっています。

IGBT は、その高速性、低飽和電圧特性をいかし、太陽光発電のパワーコンディショナー、無停電電源（UPS）などの産業用分野から、IH クッキングヒーターのヒータ制御、エアコンの PFC、インバータ、また、カメラストロボ制御などの民生分野まで幅広い応用分野があります。

図 2 に IGBT とバイポーラ・トランジスタ、MOSFET の構造、特長の比較を示します。IGBT の基本構造は、MOSFET のドレイン（コレクタ）側に p+ 層を追加し、pn 接合を 1 個追加したものになり、オン時に p+層から n-層へ正孔（ホール）が注入される伝導度変調により、n-層の抵抗が激減します。これによって大電流では MOSFET と比べて、IGBT は低飽和電圧（低オン抵抗化）となり、導通損失の低減が可能となります。

しかし IGBT は構造上ターンオフ時に蓄積された少数キャリアである正孔（ホール）の流出経路が遮断されるためターンオフが遅れる現象（テール電流）が生じ、MOSFET と比べるとスイッチング時間が長くなりターンオフ時の損失増加となります。

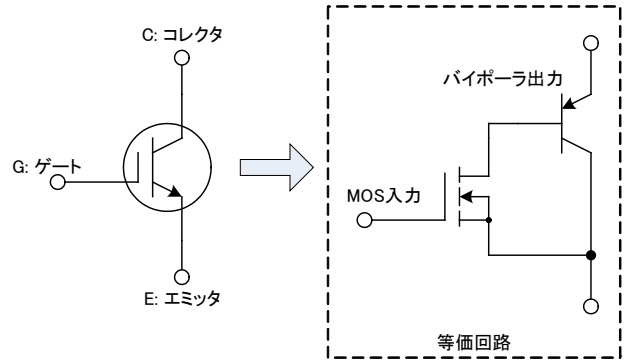


図 1. IGBT 等価回路

		バイポーラトランジスタ	IGBT	パワー MOSFET
構造	ベース	ベース	ゲート	ゲート
	エミッタ	エミッタ	エミッタ	ソース
伝導度変調		伝導度変調	伝導度変調	寄生ダイオード
コレクタ		コレクタ	コレクタ	ドレイン
特長	キャリア	電子と正孔	電子と正孔	電子のみ
	駆動能力	大	小	小
	大電流化	○	◎	×
	動作周波数	低	数KHz~20KHz	数10KHz~300KHz

図 2. 各種トランジスタの基本構造

2. 用語説明

2.1 絶対最大定格

絶対最大定格とは IGBT を安全にご使用頂くために規定された定格値です。
この絶対最大定格を瞬時でも超えると劣化や破壊に至る可能性がありますので必ず最大定格以内でご使用下さい。

表 1. 絶対最大定格

用語	記号	定義
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CES}	ゲート・エミッタ間を短絡し、コレクタ・エミッタ間に印加できる電圧の最大値
ゲート・エミッタ間電圧	V_{GES}	コレクタ・エミッタ間を短絡し、ゲート・エミッタ間に印加できる電圧の最大値
コレクタ電流	I_C	コレクタ端子に許容される電流の最大値
	$I_{C(peak)}$	パルス動作時にコレクタ端子に許容される電流の最大値
内蔵ダイオード順方向電流	I_F	内蔵ダイオードに許容される電流の最大値
	$I_{F(peak)}$	パルス動作時に内蔵ダイオードに許容される電流の最大値
コレクタ損失	P_C	コレクタ・エミッタ間で発生する電力損失で許容される最大値
ジャンクション・ケース間熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	素子のジャンクションからケースまでの熱抵抗
ジャンクション温度	T_j	素子のジャンクション温度で問題無く動作できる最大値
保存温度	T_{stg}	電力を印加しない状態で保存できる温度範囲

注記事項

本製品の使用条件（使用温度/電流/電圧等）が絶対最大定格以内であっても、高負荷（高温および大電流/高電圧印加、多大な温度変化等）で連続して使用される場合は、信頼性が著しく低下するおそれがあります。弊社半導体信頼性ハンドブック（取り扱い上のご注意とお願いおよびディレーティングの考え方と方法）および個別信頼性情報（信頼性試験レポート、推定故障率等）をご確認の上、適切な信頼性設計をお願いします。

2.2 電気的特性

表 2. 電気的特性

用語	記号	定義
コレクタ・エミッタ間漏れ電流	I_{CES}	ゲート・エミッタ間を短絡し、コレクタ・エミッタ間に指定の電圧を印加した時のコレクタ電流
ゲート・エミッタ間漏れ電流	I_{GES}	コレクタ・エミッタ間を短絡し、ゲート・エミッタ間に指定の電圧を印加した時のゲート電流
ゲート・エミッタ間 しきい値電圧	$V_{GE(th)}$	指定のコレクタ・エミッタ間電圧を印加し、指定のコレクタ電流となるゲート・エミッタ間電圧
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	指定のゲート・エミッタ間電圧を印加し、指定のコレクタ電流におけるコレクタ・エミッタ間電圧
入力容量	C_{ies}	指定のゲート・エミッタ間電圧、指定のコレクタ・エミッタ間電圧及び指定の周波数におけるゲート・エミッタ間の静電容量
出力容量	C_{oes}	指定のゲート・エミッタ間電圧、指定のコレクタ・エミッタ間電圧及び指定の周波数におけるコレクタ・エミッタ間の静電容量
帰還容量	C_{res}	指定のゲート・エミッタ間電圧、指定のコレクタ・エミッタ間電圧及び指定の周波数におけるゲート・コレクタ間の静電容量
ゲート電荷量	Q_g	ゲート・エミッタ間を指定の電圧とするために必要な電荷量
ゲート・エミッタ間電荷量	Q_{ge}	ゲート・エミッタ間電圧がしきい値電圧となるまでに必要な電荷量
ゲート・コレクタ間電荷量	Q_{gc}	ゲート・コレクタ間のミラー効果によって増加する電荷量
ターンオン遅延時間	$t_{d(on)}$	ゲート・エミッタ間電圧が順バイアス電圧の 10%から、コレクタ電流が 10%に上昇するまでの時間
上昇時間	t_r	コレクタ電流が 10%から 90%に上昇するまでの時間
ターンオフ遅延時間	$t_{d(off)}$	ゲート・エミッタ間電圧が順バイアス電圧の 90%から、コレクタ電流が 90%に下降するまでの時間
下降時間	t_f	コレクタ電流が 90%から 10%に下降するまでの時間
ターンオン損失エネルギー	E_{on}	ターンオン開始からコレクタ・エミッタ間電圧が指定された値に達するまでの間に発生するコレクタ損失の積分値
ターンオフ損失エネルギー	E_{off}	ターンオフ開始からコレクタ・エミッタ間電圧が指定された値に達するまでの間に発生するコレクタ損失の積分値
スイッチング損失エネルギー	E_{total}	E_{on} と E_{off} の和
短絡耐量時間	t_{sc}	指定の条件において IGBT が短絡動作に耐えうる時間
内蔵ダイオード順方向電圧	V_F	指定のダイオード電流におけるエミッタ・コレクタ間電圧
内蔵ダイオード逆回復時間	t_{rr}	ダイオード電流が順方向から逆方向に切り換わって逆回復電流が流れ始めた時点から、逆回復電流ピーク値の 90%と 50%を結ぶ直線が時間軸と交わるまでの時間
内蔵ダイオード逆回復電流	I_{rr}	ダイオード電流が流れている状態からオフ状態へ切り換わる時に過渡的に逆方向に流れる電流
内蔵ダイオード逆回復電荷量	Q_{rr}	逆回復動作時に消滅する全電荷量

3. 電气的特性

3.1 定格電流、許容損失

図3にRBN40H125S1FPQのコレクタ損失温度特性を示します。

異なるケース温度において許容されるコレクタ損失を示しており、 $T_c=25^\circ\text{C}$ 以上の場合に次の式が成り立ちます。

$$P_c = \frac{(T_{jmax} - T_c)}{R_{th(j-c)}}$$

なお $T_c=25^\circ\text{C}$ 以下の場合は絶対最大定格にて規定されているコレクタ損失となります。

定格電流は上記式を用いて、以下の様に求める事が出来ます。

$$I_c = \frac{(T_{jmax} - T_c)}{R_{th(j-c)} \times V_{CE(sat)}}$$

但し、本計算式は熱計算に基づいた基本的な考え方であり、製品の定格電流は、 $V_{CE(sat)}$ の電流依存性や温度依存性を考慮して決定しています。

また定格電流（パルス）はアセンブリ要因や信頼性に基づいた通電能力のピーク値を表していますのでデータシートに記載された定格値の範囲内でご使用下さい。但し定格電流（パルス）の範囲内でもジャンクション温度や安全動作領域によって制限される場合もありますので設計の際にはご注意願います。

定格電流、許容損失共に最大定格で規定された値ですので、一瞬たりとも定格を超える事が無い様にマージンを持った設計をお願いします。

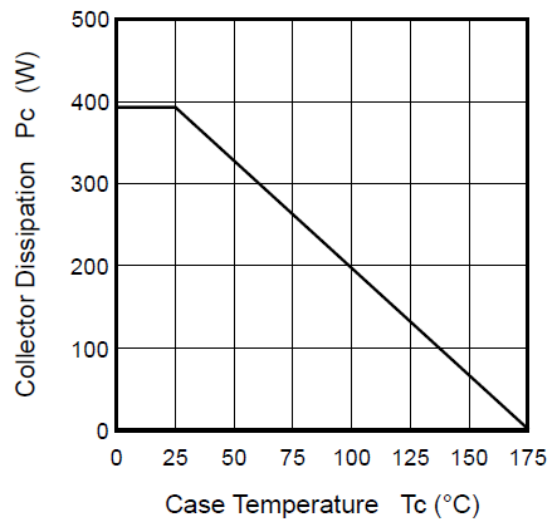


図3. コレクタ損失-ケース温度特性

3.2 安全動作領域

IGBT をスイッチング動作させた場合の動作軌跡が電圧、電流、電力の制限領域内であることを確認するための定格です。ターンオン時動作軌跡、ターンオフ時動作軌跡ともに SOA 内に入るように設計することが必要です。(図 4)

なお、安全動作領域には、順バイアス SOA と逆バイアス SOA がありますが、製品によって制限される領域が変わる可能性もありますので、個別のデータシートにてご確認下さい。

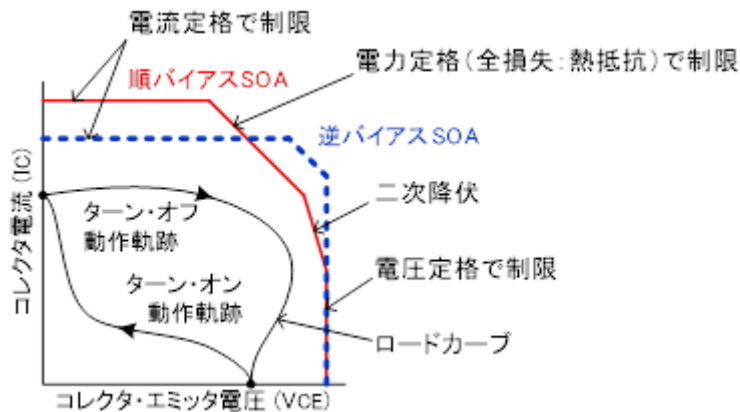


図 4. 安全動作領域(SOA)

3.2.1 順バイアス安全動作領域 (Forward Bias Safe Operating Area)

図 5 に RBN50H65T1FPQ の順バイアス安全動作領域(FBSOA)を示します。制限領域は下記の 4 つの領域に区別されます。

- ① : 最大定格のパルスコレクタ電流 $I_{C(peak)}$ により制限される領域
- ② : コレクタ損失により制限される領域
- ③ : 二次降伏領域
安全動作領域が狭くなるため注意が必要です。但し二次降伏に対してマージンある製品では存在しません
- ④ : 最大定格のコレクタ・エミッタ電圧 (耐圧) V_{CES} で制限される領域

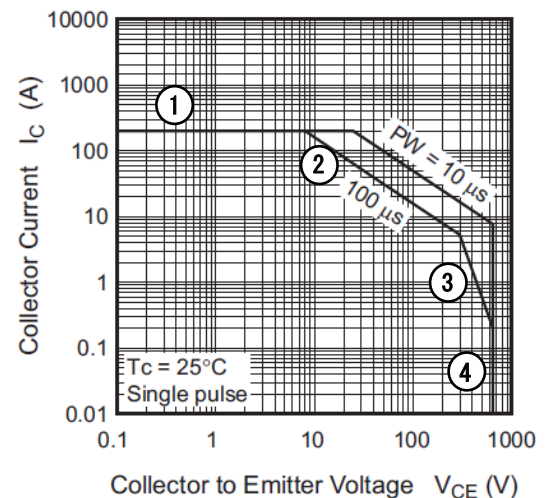


図 5. 順バイアス安全動作領域

3.2.2 逆バイアス安全動作領域 (Reverse Bias Safe Operating Area)

図 6 に RBN40H125S1FPQ の逆バイアス安全動作領域 (RBSOA) を示します。

この特性はバイポーラ・トランジスタの逆バイアス SOA に相当するものです。誘導性負荷においてターンオフ時にゲート・エミッタ間に無バイアスを含む逆バイアスが印加された際、IGBT のコレクタ・エミッタ間には高電圧が印加され同時に残留ホールによる大電流が流れますが、この動作に対しては順バイアス SOA は適用できず、逆バイアス SOA を使用します。逆バイアス SOA 制限領域は下記 2 つの領域に区分され、実動作確認にて最終的な領域を決めています。

- ① 最大定格のピークコレクタ電流 $I_{c(peak)}$ により制限される領域
- ② 最大定格のコレクタ-エミッタ電圧 (耐圧) V_{CES} で制限される領域

なお、SOA を逸脱する $V_{CE}-I_C$ 動作軌跡を描いた場合、製品が破壊する恐れがありますので、回路設計を行う時には破壊耐量と関連性のある特性項目や回路定数を決めたいうえで損失その他の性能を検討することが必要となります。例えばこの逆バイアス SOA は温度特性 (高温で悪化) があり、また $V_{CE}-I_C$ 動作軌跡はゲート抵抗 R_g やゲート電圧 V_{GE} によって変わります。このため使用環境やターンオフ時のゲート最小抵抗値を認識した上で、 R_g , V_{GE} の設計をする必要があります。ちなみにスナバ回路によって V_{CE} の dv/dt を抑制することも有効です。

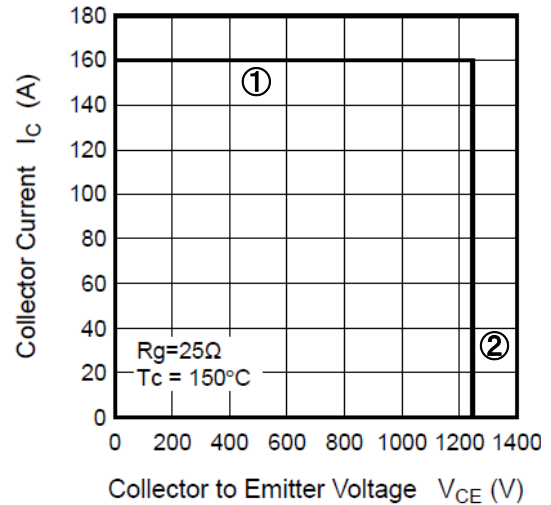


図 6. 逆バイアス安全動作領域

3.3 静特性

図 7 に RBN40H125S1FPQ の出力特性を示します。

任意のゲート電圧条件において、コレクタ電流を流している時のコレクタ・エミッタ間電圧を示します。通電能力やオン時の損失に影響を与えるコレクタ・エミッタ間電圧はゲート電圧やケース温度により異なりますので設計の際には配慮が必要です。なお $V_{CE}=0.7\sim 0.8V$ 辺りから電流が立ち上がっていますが、これはコレクタ・エミッタ間の PN 接合の順方向電圧によるものです。

図 8 に RBN40H125S1FPQ のコレクタ・エミッタ間飽和電圧-ゲート電圧特性を示します。

基本的にゲート・エミッタ電圧 V_{GE} が増加すると $V_{CE(sat)}$ は小さくなりますが、 $V_{GE}=15V$ 以上では $V_{CE(sat)}$ の変化は小さくなるため通常 $V_{GE}=15V$ 程度の使用を推奨しています。

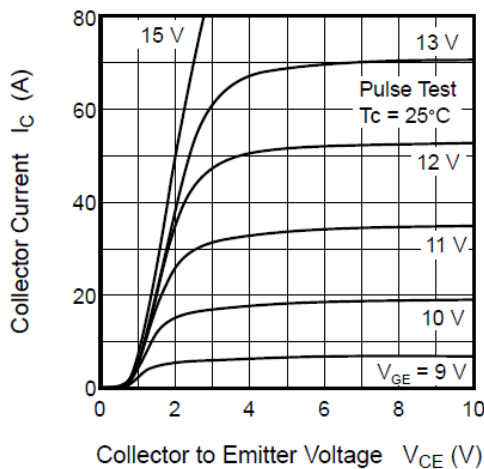


図 7. 出力特性

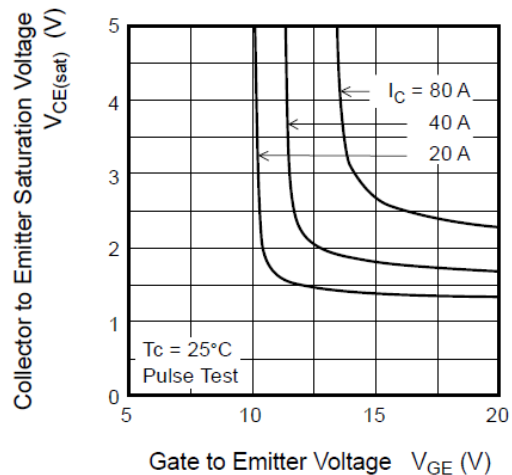


図 8. コレクタ・エミッタ間飽和電圧-ゲート電圧特性

図9にRBN40H125S1FPQのコレクタ電流・ゲート電圧特性を示します。
 I_C - V_{GE} 特性には温度依存性がありますが、クロスポイントを中心にゲート電圧低い領域では負の温度係数、ゲート電圧高い領域では正の温度係数となります。パワーデバイスは動作中に発熱するため、特に並列使用の際には正の温度係数領域で使用される方が望ましく、推奨使用条件である $V_{GE}=15V$ では正の温度特性を示します。

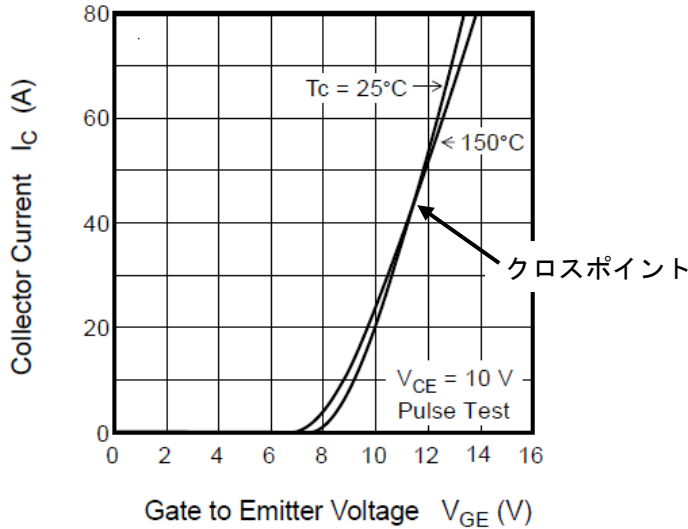


図 9. コレクタ電流-ゲート電圧特性

図 10, 11 にRBN40H125S1FPQのコレクタ・エミッタ間飽和電圧とゲートしきい値電圧の温度依存性を示します。
 コレクタ-エミッタ間飽和電圧は正の温度依存性があるため、IGBT 動作によって発熱すると電流を流しにくくなり、並列動作時に電流集中を起こしにくい特性があります。これに対しゲート・エミッタ間しきい値電圧は負の温度依存性があるため、高温時にしきい値電圧が下がってしまいノイズによる誤動作を起こしやすくなる危険性があります。このため設計の際にはこれら特性も配慮した検証が必要です。

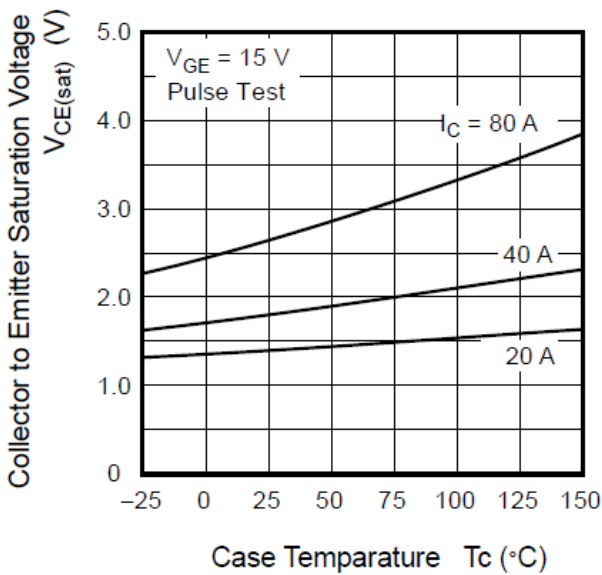


図 10. コレクタ・エミッタ間飽和電圧温度依存性

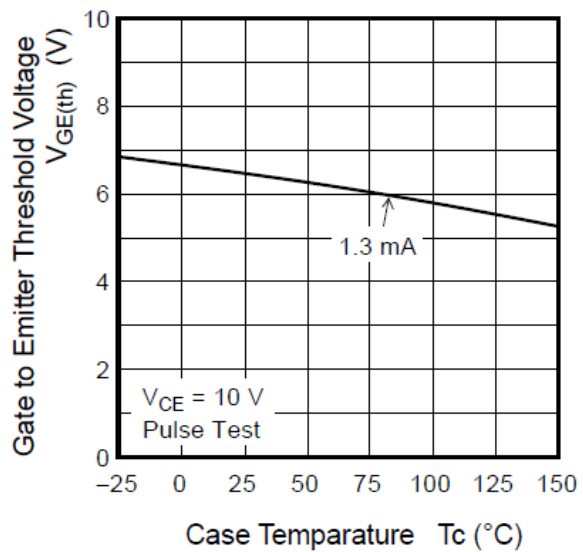


図 11. ゲートしきい値電圧温度依存性

3.4 容量特性

3.4.1 ゲートチャージ特性

図 12 に RBN40H125S1FPQ のゲートチャージ特性を示します。

IGBT のゲートチャージ特性は、基本的にはパワーMOSFET と同じ考え方が適用でき、また、ドライブ電流、ドライブ損失を決めるパラメータです。図 13 の特性カーブを①～③の部分に分け、それらの期間について、動作を説明します。

<期間①>

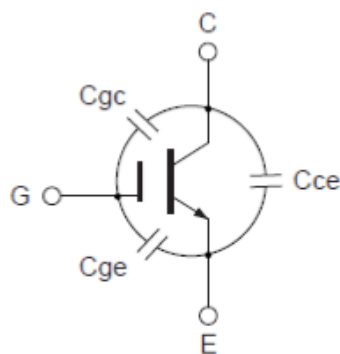
電流を流し始めるしきい値電圧までゲート電圧を上昇させます。 $V_{GE}=0V$ から上昇している部分が、ゲート・エミッタ間の容量 C_{ge} を充電している部分です。

<期間②>

活性領域から飽和領域に移行する期間で、コレクタ・エミッタ電圧が変化しゲート・コレクタ容量 C_{gc} が充電されます。この期間はミラー効果により見かけ上の容量が大きくなるため V_{GE} が一定となりますが、IGBT が完全に ON 状態になり、 V_{CE} の変化がなくなるとともにミラー効果もなくなります。

<期間③>

完全に飽和状態になっており、 V_{CE} は変化しません。
時間と共に、 V_{GE} 電圧は上昇します。



$$\begin{aligned} C_{ies} &= C_{gc} + C_{ge} \\ C_{res} &= C_{gc} \\ C_{oes} &= C_{gc} + C_{ce} \end{aligned}$$

図 12. 端子間容量

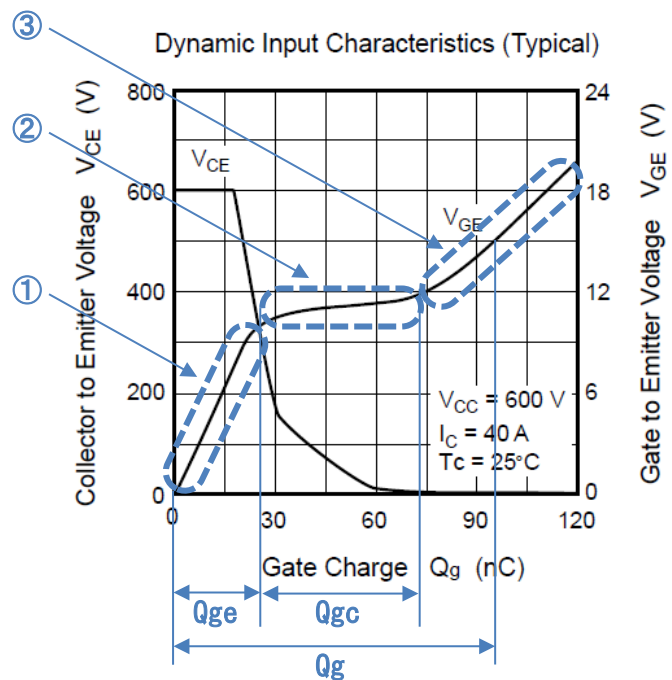


図 13. ゲートチャージ特性

3.4.2 ゲートドライブ電流の決め方

このゲートドライブ電流は、ゲートシリーズ抵抗 R_g 、ドライブ回路の信号源抵抗 R_s 、素子内部抵抗 r_g と、ドライブ電圧 $V_{GE(on)}$ で決定され以下の式で表されます。

$$I_{G(peak)} = \frac{V_{GE(on)}}{R_g + R_s + r_g}$$

従って、ドライブ回路の出力段には $I_{G(peak)}$ 以上の電流駆動能力を持たせるよう設計する必要があります。なお、実際のピーク電流は、ドライブ回路の遅れや、ドライブ回路から IGBT チップのゲートパッドまでの配線インダクタンス等によるゲート電流の di_G/dt の立ち上がり遅れ等により、計算値より小さくなる傾向があります。

また、スイッチング特性はターンオン、ターンオフ共に R_g に大きく依存し、それがスイッチング時間やスイッチング損失等に影響を及ぼします。従って、使用するデバイスに応じて、最適な R_g を選定する必要があります。

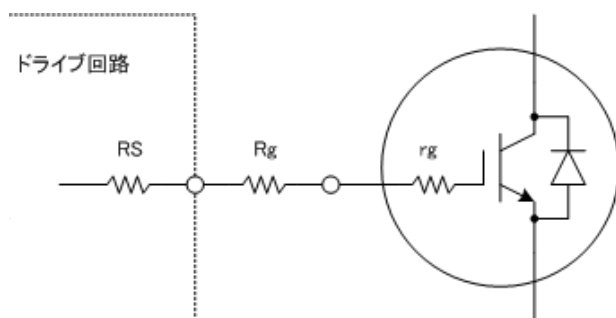


図 14. ドライブ回路の抵抗成分

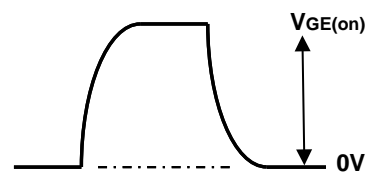


図 15. ゲート端子駆動波形

3.4.3 ドライブ損失の算出

ドライブ回路の発生損失が全てこれらの抵抗成分で消費される場合、ドライブ損失は、次式で表されます。（ f : スwitching 周波数）

$$P_{(Drive Loss)} = V_{GE(on)} \times Q_g \times f$$

3.5 スイッチング特性

IGBTはスイッチング素子のため、スイッチング速度（ターンオン時間、ターンオフ時間）は効率（損失）を左右する重要なパラメータの一つです。図16に誘導負荷スイッチング測定回路を示します。インダクタンス L と並列にクランプダイオードが接続されていますので、IGBTのターンオン時間（ターンオン損失）は、本ダイオードのリカバリ特性の影響も受けます。

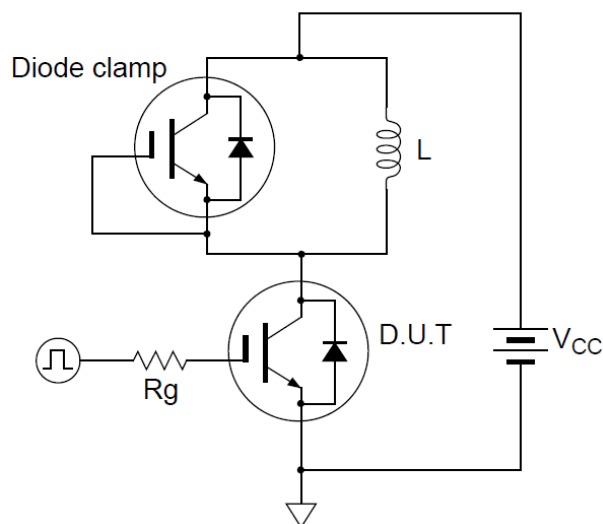


図 16. スイッチング特性測定回路 誘導負荷

スイッチング時間

スイッチング時間は図 17 に示される 4 つの期間に分割して測定します。またそれらの時間は T_j , I_C , V_{CE} , V_{GE} , R_g の条件によって大きく変化するため、ドキュメントに規定された条件にて測定されます。

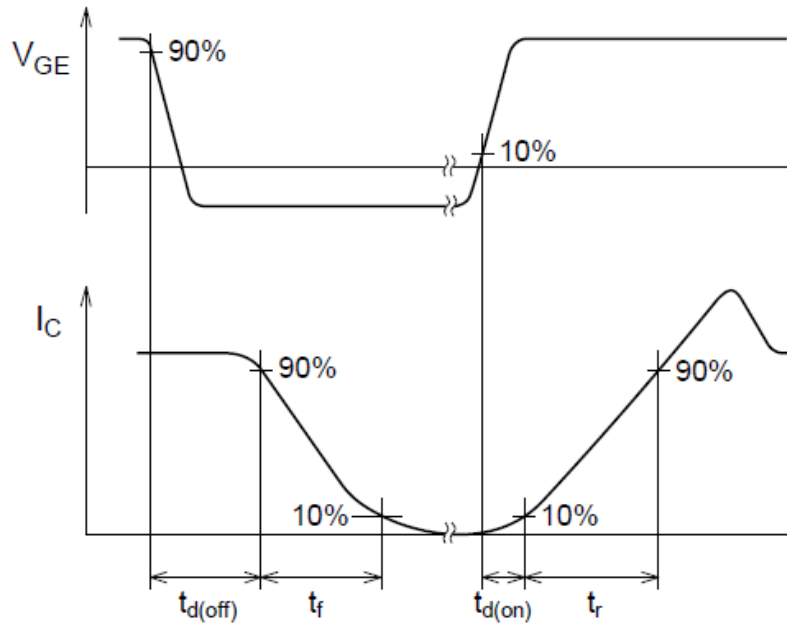


図 17. スwitching 波形

 $t_{d(on)}$ (ターンオン遅延時間)

ゲート・エミッタ間電圧が順バイアス電圧の 10% から、コレクタ電流が 10% に上昇するまでの時間

 t_r (立ち上り時間)

コレクタ電流が 10% から 90% に上昇するまでの時間

 $t_{d(off)}$ (ターンオフ遅延時間)

ゲート・エミッタ間電圧が順バイアス電圧の 90% から、コレクタ電流が 90% に下降するまでの時間

 t_f (立ち下り時間)

コレクタ電流が 90% から 10% に下降するまでの時間

IGBT には、ターンオフ期間にテール時間 (t_{tail}) が存在します。これは、IGBT がオフ状態となりコレクタ・エミッタ電圧が上昇してもコレクタ側に残存する過剰なキャリアが、再結合で消滅するまでに掛かる時間です。

3.6 内蔵ダイオード特性

IGBTには、パワーMOSFETのような寄生のダイオードは存在しません。従ってモータのようなインダクタンス負荷の制御では、高速逆回復ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) のチップを内蔵した複合 IGBT が使用されます。

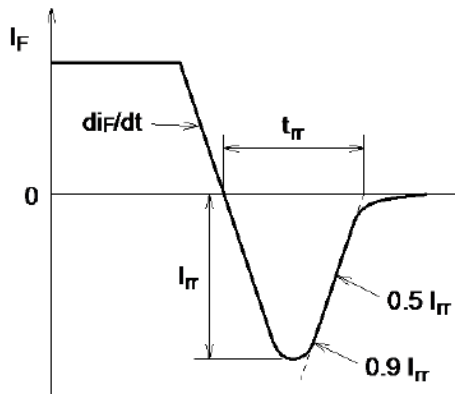
これらの機器では IGBT の性能のみならず、内蔵ダイオードの性能も機器効率、ノイズに大きな影響を与えます。また、ダイオードの重要なパラメータとして、逆回復特性と順方向電圧特性があります。

3.6.1 内蔵ダイオードの逆回復特性

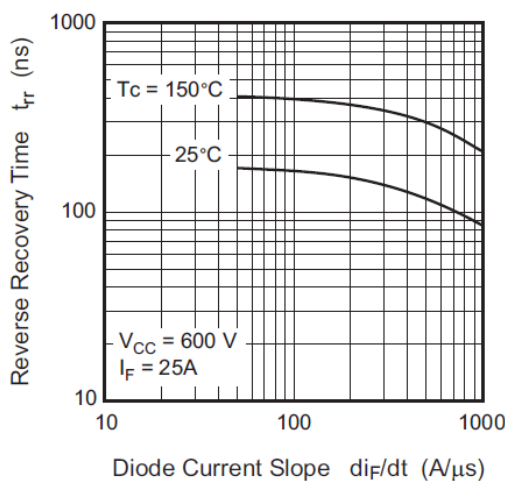
ダイオードに順方向電流を流している状態から逆素子状態へ切り替わるとき、蓄積された少数キャリアが放出されます。この少数キャリアを放出し終えるまでの時間が逆回復時間 (t_{rr}) と呼ばれ、その時の電流を逆回復電流 (I_{rr})、それらの積分値を逆回復電荷量 (Q_{rr}) と呼びます。

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{rr} \times t_{rr}$$

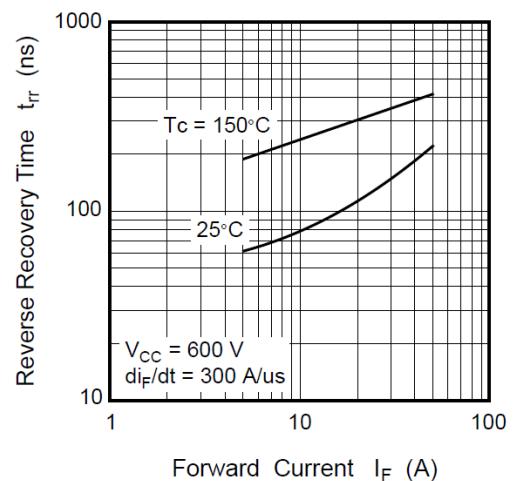
t_{rr} 期間は等価的に短絡状態となりますので、大きな損失を伴います。またスイッチング動作時には動作周波数の制約になるため、一般的には t_{rr} が早く、 I_{rr} が小さい (Q_{rr} が小さい) ことが望ましいとされています。これらの特性は、順方向電流 I_F 、 di_F/dt 、ジャンクション温度 T_j に大きく依存します。



(a) 内蔵ダイオード逆回復特性



(b) 逆回復時間- di_F/dt 依存性



(c) 逆回復時間-ダイオード電流依存性

図 18. ダイオードのスイッチング特性

しかしながら t_{tr} が早くなると、リカバリ時の di/dt が急峻となり、それに伴いコレクタ-エミッタ電圧の dv/dt も急峻となることからノイズが発生しやすくなります。ノイズの対策例を以下に示します。

- 1) di_F/dt を低減（IGBT のターンオン時間を遅くする）。
- 2) IGBT のコレクタ・エミッタ間にスナバコンデンサを追加し、コレクタ-エミッタ電圧の dv/dt を軽減。
- 3) 内蔵ダイオードのソフトリカバリ化

逆回復特性は、素子の耐圧及び、容量に大きく依存します。特性改善の手法としては、ライフタイム制御や、重金属拡散などがあります。

3.6.2 内蔵ダイオードの順方向電圧特性

図 19 に RBN40H125S1FPQ の内蔵ダイオード出力特性を示します。

ダイオード順方向電圧 V_F はダイオード順方向にダイオード電流 I_F を流したときに発生する電圧降下のことです。モータ用途では回生（Free Wheel）時の損失を左右する特性であるため V_F は低いほどよく、また、図 19. のようにダイオード順電流 I_F の大小によって正および負の温度特性があります。

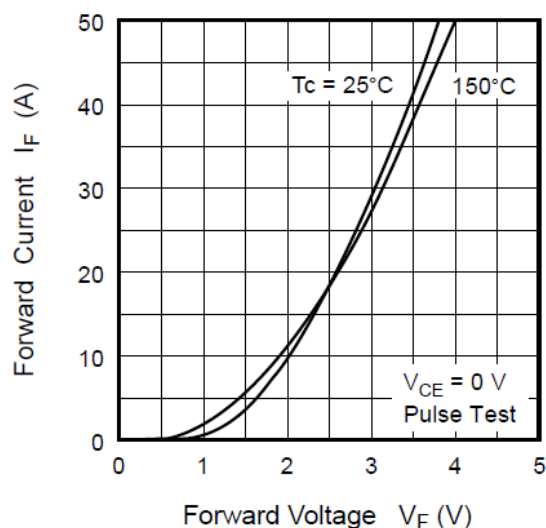


図 19. ダイオード電流-順方向電圧特性

3.7 熱抵抗特性

図 20 に RBN40H125S1FPQ の IGBT と内蔵ダイオードの過渡熱抵抗特性を示します。

これはジャンクション温度 T_j を算出するための特性です。横軸のパルス幅 PW は動作時間で、1 Shot Single Pulse と繰り返し動作の条件を記載しています。

例えば PW=1ms、D=0.2 (Duty Cycle=20%) とは、繰り返し周期 T=5ms となるため繰り返し周波数は 200 Hz となります。

仮に PW=1ms、D=0.2、消費電力 Pd=60 W として、IGBT のジャンクション温度上昇 ΔT_j を計算すると下記のようになります。

$$\Delta T_j = P_d \times \theta_{j-c}(t) = 60 \times 0.17 = 10.2^\circ\text{C}$$

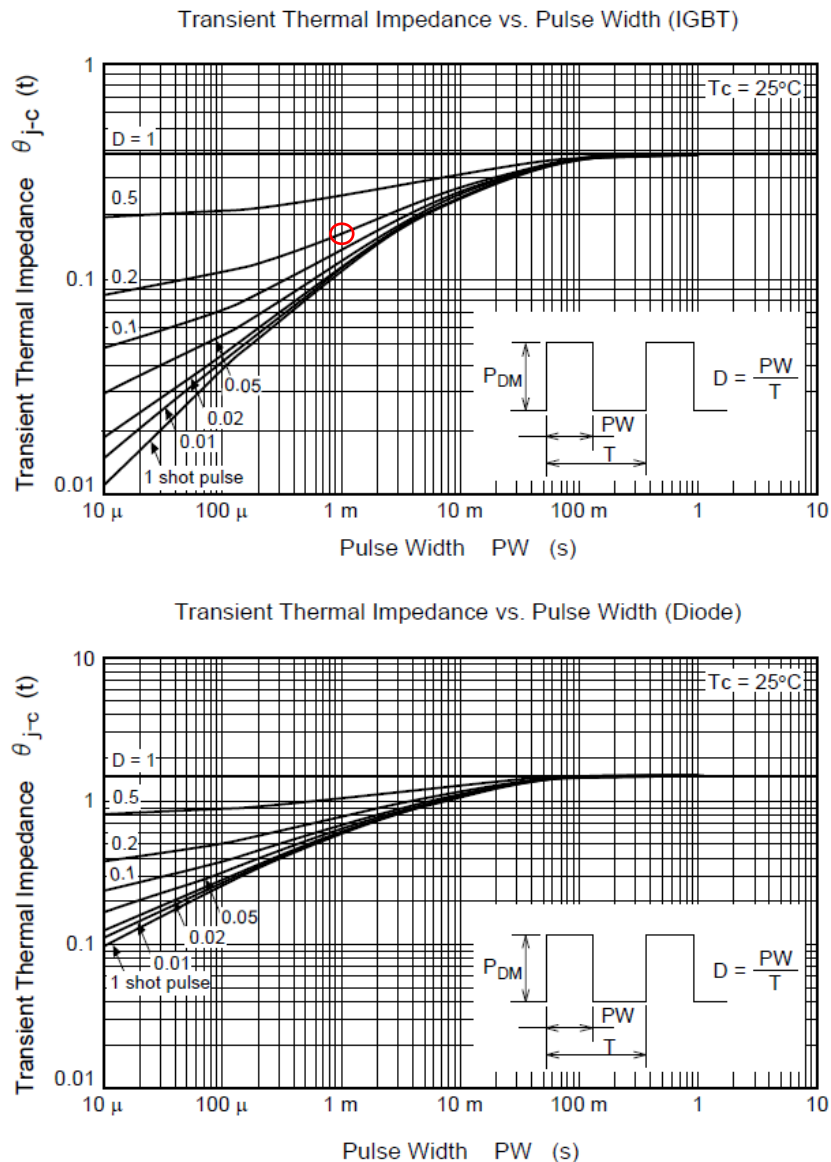


図 20. $\theta_{j-c}(t)$ パルス幅 PW 特性

3.8 負荷短絡特性

インバータ等のブリッジ回路に用いる素子には、万一セツトが短絡した場合でも、短絡（過電流）保護回路が働きゲート電圧が遮断するまでの一定時間、破壊せずに耐える必要があります。

図 21, 22 に RBN40H125S1FPQ の負荷短絡時間、電流の実力値を示します。

この負荷短絡耐量は一般的に時間 t_{sc} で表されます。またゲート・エミッタ間電圧やケース温度、電源電圧に大きく依存しますので設計する際に考慮し、また最適な製品を選択する必要があります。

ゲート-エミッタ電圧 V_{GE} :

ゲート電圧増加によって短絡電流が増加して耐量低下

温度 T_c :

温度上昇によって破壊までの ΔT_j が小さくなり耐量低下

電源電圧 V_{CC} :

電圧増加によって短絡電流が増加して耐量低下

また、短絡（過電流）保護回路が検知してゲート信号をオフする時の短絡電流は通常と比べて極端に大きな電流値となっています。この大電流を通常のゲート抵抗 R_g でオフすると定格電圧を超えたサージ電圧が発生する可能性がありますので、短絡保護時のゲート抵抗は定常より数倍～10倍（但し順バイアス SOA を超えない範囲）に設定し、短絡電流遮断時にコレクタ・エミッタ間にサージ電圧が発生しないようにする必要があります。また負荷短絡耐量 t_{sc} （時間）は製造バラツキがありますので、短絡保護回路が働くまでの時間設定には2倍以上の十分なマージンを持つことが必要です。

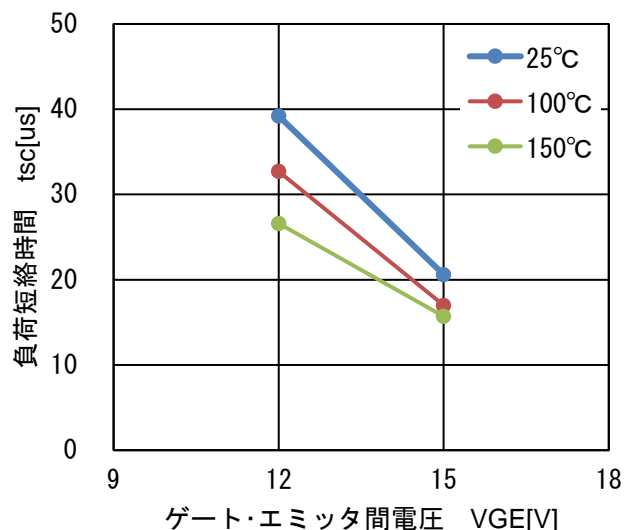


図 21 負荷短絡時間実力データ

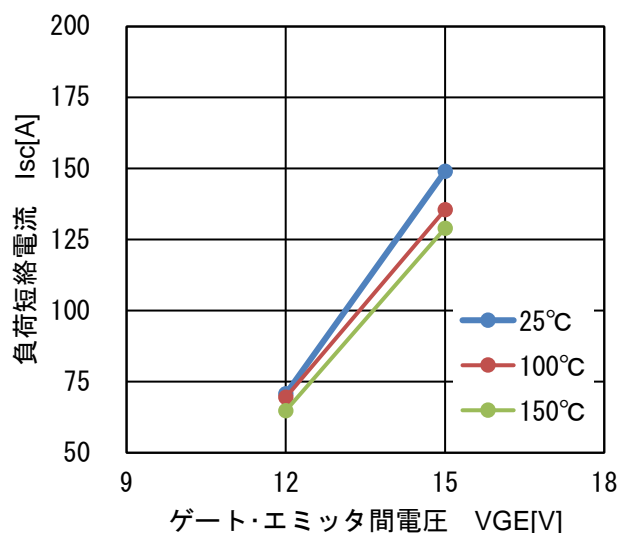


図 22 負荷短絡電流実力データ

4. 最大接合温度 T_{jmax} の 175°C化

接合温度 T_j の絶対最大定格は、一般産業用途向け製品として従来 150°Cを適用していますが、最新世代では高温対応の $T_{jmax}=175°C$ 要求に合わせて一部製品から 175°C対応を行っています。

表 3 に 175°C対応した RBN40H125S1FPQ の信頼性試験条件の例（一部抜粋）を示します。
 T_{jmax} の 175°C対応によって、従来の 150°Cでの信頼性試験条件から一部試験条件を変更して動作検証を実施しています。

ただし試験条件は製品によって異なりますので、詳細については個別製品の信頼性資料にてご確認ください。

表 3. RBN40H125S1FPQ の信頼性試験条件例（一部抜粋）

項目	試験条件
高温逆バイアス試験 (HTRB)	1000 h $V_{CE} = V_{CES}(\text{定格}) \times 80\%$ $T_j = 175°C$

注) 製品によっては個別条件にて信頼性試験を行う場合があります。

また、 T_{jmax} は連続運転を規定した温度ではなく、瞬間的にもオーバーしてはいけない定格規定です。スイッチング動作による素子の放熱による瞬間的な温度上昇も加味して守られる必要がありますので、 $T_j=175°C$ を超えない条件でご使用ください。

T_{jmax} を含めた最大定格に対しては、使用条件は個別信頼性情報（信頼性試験レポート、推定故障率等）および弊社信頼性ハンドブック（半導体デバイスの使用上の注意事項）をご確認の上、適切なディレーティングを考慮した信頼性設計をお願いします。

5. IGBT の損失

5.1 動作損失

IGBT で誘導負荷を駆動した時の損失は、大きく導通損失とスイッチング損失に分かれます。完全にオンした状態で生じる損失を導通損失、オンからオフまたはオフからオンへのスイッチング時の損失をスイッチング損失と呼びます。

損失は下式のように電圧と電流の積算で決まるため、導通時にもコレクタ-エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ の影響により損失が発生します。損失はデバイスの発熱につながることから、 $V_{CE(sat)}$ は低い値が要求されます。スイッチング損失に関しては、次項で詳しく説明します。

損失 (P) = 電圧 (V) × 電流 (I)

ターンオン時損失 : $P_{(turn\ ON)} = V_{CE(sat)} \times I_C$

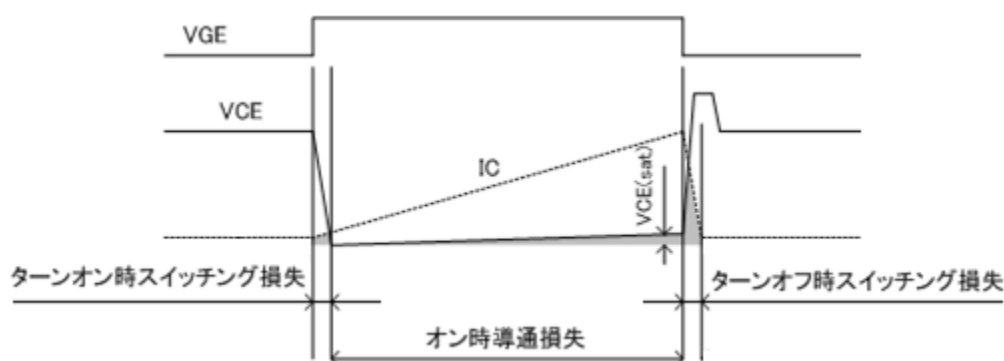


図 23. 動作損失(誘導負荷駆動時の例)

5.2 スwitchング損失

スイッチング時間を用い、IGBT の損失を計算するのは困難です。そのため、スイッチング損失データは、システム設計者が、スイッチング損失を計算するための参考データとして、データシートに記載されます。

図 24 に RBN40H125S1FPQ のスイッチング損失特性を示します。

E_{on} と E_{off} はコレクタ電流、ゲート抵抗及び動作温度に大きく依存します。

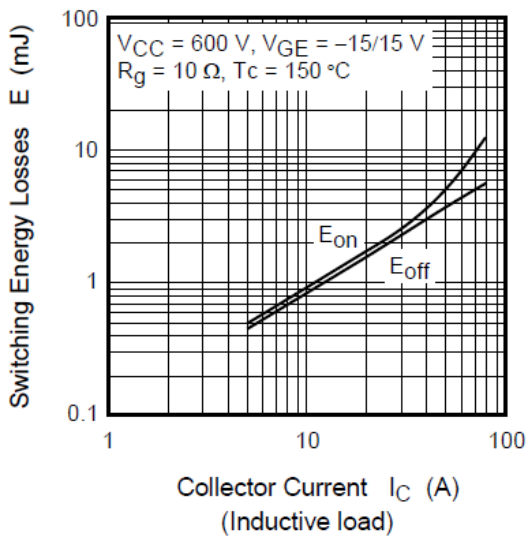
E_{on} (ターンオン損失エネルギー)

誘導負荷条件でターンオン時に発生する損失量で、ダイオードの逆回復時のリカバリ損失も含まれます。

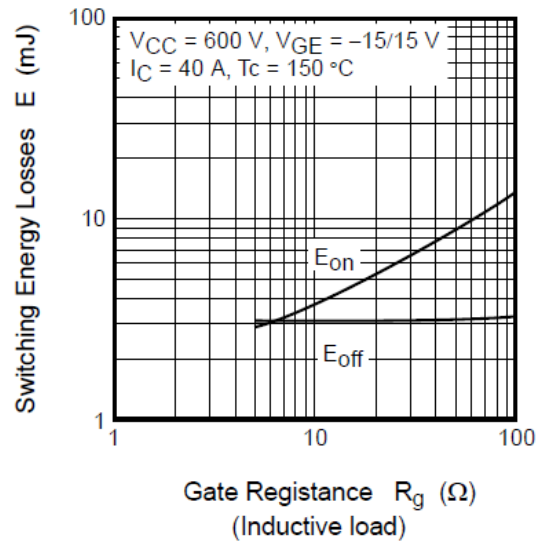
E_{on} はゲート電圧が印加されコレクタ電流が流れ始める時点から、IGBT が完全にオン状態へ移行する期間で測定されます。

E_{off} (ターンオフ損失エネルギー)

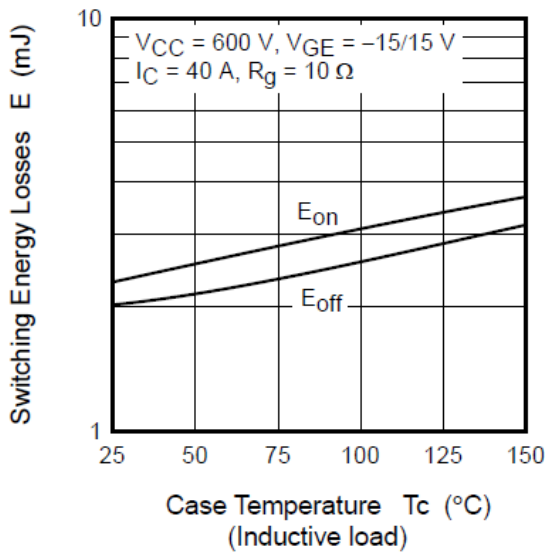
誘導負荷条件でターンオフ時に発生する損失量で、テール電流も含まれます。ゲート電流が遮断されコレクタ-エミッタ電圧が立ち上がり始める時点から、IGBT が完全にオフ状態へ移行する期間で測定されます。



(a) スイッチング損失-コレクタ電流依存性



(b) スイッチング損失-ゲート抵抗依存性



(c) スイッチング損失-ケース温度依存性

図 24. スイッチング特性

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com/>

お問い合わせ先

<http://japan.renesas.com/contact>

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品、本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、
家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通管制（信号）、大規模通信機器、
金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じて、当社は一切その責任を負いません。

6. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の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合せください。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、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
10. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
12. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注1において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.4-0-1 2017.11)



ルネサス エレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

※営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒135-0061 東京都江東区豊洲3-2-24（豊洲フォレシア）

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。
総合お問合せ窓口：<https://www.renesas.com/contact/>