

## 富士 IGBT モジュール 第3章 適用上の注意事項

# Application Manual

## 注意

このマニュアルの内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2020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。このマニュアルに記載されている製品を使用される場合には、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。

本資料に記載してある応用例は、富士電機の半導体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。

 **注意**

(1) 輸送と保管

段ボール箱の適切な面を上にして運搬してください。そうしないと製品に予期しないストレスがかかり、端子の曲りや樹脂パッケージ内の歪みなど、影響を及ぼす可能性があります。さらに製品を投げたり落下させたりすると、製品に大きなダメージを与える可能性があります。また水に濡れると破壊や故障の原因になりますので、雨や凍結には十分な配慮をお願いします。輸送中の温度や湿度などの環境条件は、仕様書に記載してありますので厳守してください。

(2) 組み立て環境

パワーモジュールの素子は静電気放電に対して非常に弱いため、組み立て環境におけるESD 対策を、仕様書に記載の範囲内で適切に実施してください。特に、導電性スポンジを制御端子から取り外す時が、最も製品に電氣的ダメージを与える可能性があります。

(3) 動作環境

製品を酸や有機物、腐食性ガス(硫化水素、硫酸ガスなど)にさらされる環境で使用した場合、製品性能や外観を十分確保することができません。

### 第3章 適用上の注意事項

1. IGBTモジュールの選定	3-2
2. 静電気対策およびゲート保護	3-3
3. 保護回路の設計	3-3
4. 放熱設計	3-4
5. ゲート駆動回路の設計	3-4
6. 並列接続	3-4
7. 実装上の注意事項	3-5
8. 保管・運搬上の注意事項	3-5
9. 信頼性上からの注意事項(寿命設計)	3-6
10. その他、実用上の注意事項	3-6

本章ではIGBTモジュールの取り扱い時、および装置への適用時の注意点を説明します。

## 1. IGBTモジュールの選定

IGBTモジュールを使用する場合、どのような電圧・電流定格のIGBTモジュールを選定すれば良いか考慮する必要があります。この節では様々な注意点を項目毎に分けて説明しています。

### 1.1 電圧定格

IGBTモジュールの電圧定格は、適用する装置の入力電源である商用電源電圧と密接な関係を持っています。この関係を表3-1に示しますので、この表を参考にして目的に応じた素子の選定をお願いします。

表3-1 商用電源電圧とIGBTモジュールの電圧定格適用例

	地域		IGBTモジュールの電圧定格		
			600V	1200V	1700V
商用電源電圧 (入力電圧AC)	アジア	日本	200V	400V, 440V	690V (産業用高圧電源、風力発電等)
		韓国	200V, 220V	380V	
		中国	220V	380V	
	北米	アメリカ合衆国	120V, 208V, 240V	460V, 480V	
		カナダ	120V, 208V, 240V	575V	
	欧州	イギリス	230V	400V	
		フランス	230V	400V	
		ドイツ	230V	400V	
		ロシア	220V	380V	

### 1.2 電流定格

IGBTモジュールのコレクタ電流が大きくなると $V_{CE(sat)}$ が上昇し、発生する定常損失が大きくなります。また、同時にスイッチング損失も増大し素子の発熱が大きくなります。IGBTモジュールはIGBT,FWDの接合部温度( $T_{vj}$ )が最大接合温度 $T_{vj(max)}$ 以下となるように使用する必要があります。この設計を誤ると素子破壊、或いは長期信頼性の低下を招くことがありますのでご注意ください。このような観点から、IGBTモジュールの電流定格選定は非常に重要です。また、高周波スイッチング用途ではスイッチング損失の増大(スイッチング回数が多い程、合計のスイッチング損失が大きくなります)により発熱が大きくなるので注意が必要です。IGBTモジュール電流定格の基本的な選定基準はインバータ回路の交流出力電流実効値の $\sqrt{2}$ 倍より大きくなるように選定するのが一般的です。しかし電流定格の選定に関しては、装置の運転条件や放熱条件にも依存しますので、その装置での発生損失と温度上昇を確認した上で、電流定格の選定をお願いいたします。

## 2. 静電気対策およびゲート保護

IGBTモジュールの $V_{GE}$ の保証値は一般的に最大 $\pm 20V$ です(保証値は仕様書に記載していますので確認ください)。 $V_{GES}$ 保証値を超える電圧をIGBTのG-E間に印加した場合、IGBTのゲートが破壊する危険があります。したがってG-E間には保証値を超える電圧を印加しないようにしてください。特にIGBTのゲートは静電気に対して非常に弱く、以下に示す注意点を守って製品を取り扱うようお願いします。

- 1) 開梱後、モジュールを取り扱う際には、人体や衣服に帯電した静電気を高抵抗(1M $\Omega$ 程度)アースで放電させた上で、接地された導電性マット上で作業をして下さい。

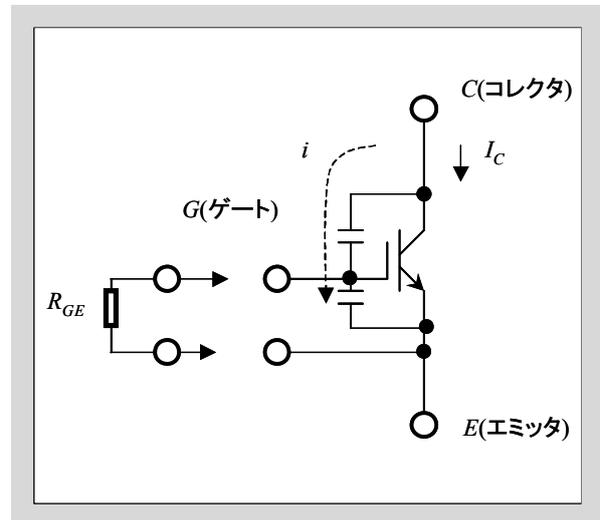


図3-1 G-E間オープン状態でのIGBTの振る舞い

- 2) IGBTモジュールの端子は静電気対策を施しておりませんので、開梱後、端子(特に制御端子)部には直接触れず、パッケージ本体を持って取り扱ってください。
- 3) 端子への半田付作業を行う場合、半田ゴテ、半田バスのリークによる静電気がIGBTに加わらないように、半田ゴテ先等を十分低い抵抗で接地して下さい。

また、G-E間がオープン状態でC-E間に電圧を印加すると、IGBTが破壊する可能性があります。これはコレクタ電位の変化により、図3-1に示す電流( $i$ )がコレクタからゲートに流れ、ゲート電位が上昇することでIGBTがオンしコレクタ電流が流れる事が原因です。このコレクタ電流によってIGBTが発熱し破壊に至る可能性がありますので、IGBTモジュールを装置に組み込み後に、ゲート回路の故障、或いはゲート回路が正常に動作しない状態(ゲートがオープン状態)で主回路電圧を印加すると上記の理由によりIGBTは破壊することがあります。破壊防止の為にゲート-エミッタ間に10k $\Omega$ 程度の抵抗( $R_{GE}$ )を接続することを推奨いたします。

## 3. 保護回路の設計

IGBTモジュールは過電流・過電圧といった異常現象により破壊する可能性があります。したがって、その異常現象から素子を保護するための保護回路設計はIGBTモジュールを適用する上で非常に重要です。IGBTモジュールを保護する回路は素子特性を十分に理解した上で、素子特性にマッチングするように設計することが重要です。マッチングが取れていないと保護回路が付いていても素子が破壊することがあります。その一例として、過電流保護をかける時の遮断時間が長いこと、スナバ回路のコンデンサ容量が小さく過大なスパイク電圧が発生することなどが挙げられます。これら過電流・過電圧保護方法は、第5章「保護回路設計方法」に詳しく説明していますので、そちらを参照願います。

## 4. 放熱設計

IGBTモジュールには、許容できる最大接合部温度  $T_{vj}(\max)$  を決めており、この温度以下になるような放熱設計が必要です。放熱設計を行なう際、IGBTモジュールを適用するアプリケーションの動作を十分に考慮した上で設計をお願いいたします。

放熱設計を行なうためには、まず素子の発生損失を算出し、その損失をもとに許容温度以下となるヒートシンクの選定を行ないます。放熱設計が十分でない場合、実機運転中等に素子の許容温度を越え破壊する問題が発生する可能性があります。注意点などを含め詳しい説明を第6章「放熱設計方法」に記載していますのでそちらを参照願います。

## 5. ゲート駆動回路の設計

素子の性能を十分に引き出せるかどうかはゲート駆動回路の設計で決まるといっても過言ではありません。また、保護回路の設計とも密接にかかわりあっています。

ゲート駆動回路はIGBTをターンオンさせるための順バイアス回路と、IGBTのオフ状態を安定に保つためおよびターンオフを速くさせるための逆バイアス回路からなり、それぞれの条件設定により素子の特性が変わってきます。またゲート駆動回路の配線方法によっては素子が誤動作するといった問題もできます。したがって最適なゲート駆動回路を設計する事は非常に重要です。注意点などを含め詳しい説明を第7章「ゲート駆動回路設計方法」に記載していますのでそちらを参照願います。

## 6. 並列接続

大容量インバータ等大電流を制御するような用途にIGBTモジュールを適用する場合、素子を並列に接続して使用場合があります。

並列接続して使用する場合、並列接続した素子に均等な電流が流れるよう設計することが重要です。もし電流バランスが崩れた場合、一つの素子に電流が集中し破壊する可能性があります。

並列接続時の電流バランスは、素子特性や配線方法等で変わってくるため、例えば素子の  $V_{CE(sat)}$  を合わせる、主回路配線を均等にするとといった管理、設計が必要になります。注意点などを含め詳しい説明を第8章「IGBTモジュールの並列接続」に記載していますのでそちらを参照願います。

## 7. 実装上の注意事項

IGBTモジュールを実装する場合、特に次の事に注意して下さい。

- 1) ヒートシンクへの取付けは、モジュール裏面にサーマルグリースを塗布し、規定の締付けトルクにて十分に締付けてください。また、ヒートシンクはネジ取付け位置間で平坦度を100mmで50  $\mu$  m以下、表面の粗さは10  $\mu$  m以下としてください。反りの大きいヒートシンクにIGBTモジュールを取付ける等の誤った取り扱いをすると絶縁破壊を起こし、重大事故に発展する場合があります。注意点などを含め詳しい説明を第6章「放熱設計方法」に記載していますのでそちらを参照願います。
- 2) モジュール電極端子部に過大な応力が加わるような配線は行なわないでください。最悪の場合、モジュール内部の半田付けされた電気配線などが断線するなどの不具合を起こします。注意点などを含め詳しい説明を第4章「トラブル発生時の対処方法」に記載していますのでそちらを参照願います。

## 8. 保管・運搬上の注意事項

### 8.1 保管

- 1) 半導体デバイスの保管場所の温度は5~35°C、湿度は45~75%が望ましいです。特にモールドタイプのパワートランジスタの場合、乾燥する地域では加湿器による加湿の必要があります。なお加湿の際、水道水を使うと、水道水中の塩素により端子が錆びるので、水は純水や沸騰水を用いるようにして下さい。
- 2) 腐食性ガスを発生する場所や塵埃の多いところは避けて下さい。
- 3) 急激な温度変化のある場所では半導体デバイス表面に結露が起こることがあります。このような環境を避け、温度変化の少ない場所に保管して下さい。
- 4) 保管時は半導体デバイスに外力または荷重がかからないようにして下さい。特に積み重ねた状態では思わぬ荷重がかかることがあります。また、重量物を半導体デバイスの上に載せないで下さい。
- 5) 半導体デバイスの外部端子は未加工の状態でも保管して下さい。端子加工後に保管すると、錆などの発生によって製品実装時に半田付不良となることがあります。
- 6) 半導体デバイスを仮置きなどする時の容器は静電気を帯びにくいものを選定して下さい。

### 8.2 運搬

- 1) 製品の運搬時に衝撃を与えたり、落下させたりしないでください。
- 2) 多数の半導体デバイスを箱に入れて運搬する時は、接触電極面等を傷つけないようにやわらかいスペーサをモジュール相互間に入れて下さい。

## 9. 信頼性上からの注意事項(寿命設計)

一般的にインバータをはじめとする電力変換装置の運転時、組み込まれているIGBTモジュールは温度の上昇と下降が繰り返されます。この温度変化によりIGBTモジュールは熱ストレスを受けるため、その運転条件に応じた寿命があります。装置の要求寿命に対しIGBTモジュール寿命が長くなる設計をする必要がなくなります。このような寿命設計を行なうためにはIGBTモジュールの温度変化を確認し、パワーサイクル寿命から寿命設計を行なうのが一般的です。寿命を十分に考慮しない場合、要求寿命に対してその寿命が短くなり、信頼性が確保できないといった問題が発生する可能性があります。それゆえ信頼性を踏まえた寿命設計は重要となります。注意点などを含め詳しい説明を第11章「パワーモジュールの信頼性」に記載していますのでそちらを参照願います。

## 10. その他、実使用上の注意事項

- 1) ゲート駆動電圧 ( $V_{GE}$ ) はモジュール端子部で測定し、所定の電圧が印加されていることをご確認ください。(ゲート駆動回路端で測定するとゲート駆動回路終端に使用するトランジスタ等の電圧ドロップの影響を受けない電圧になりますので、IGBTに所定の  $V_{GE}$  が印加されていなくてもその不具合に気がつかず、素子破壊に至る可能性があります)
- 2) ターンオン・ターンオフ時のサージ電圧等の測定は製品の主端子部で測定して下さい。仕様書に別途測定端子の記載がある場合はその端子で測定して下さい。
- 3) 製品は最大定格(電圧, 電流, 温度等)の範囲内で御使用下さい。最大定格を超えて使用すると製品が破壊する場合があります。特に  $V_{CES}$  を超えた電圧を印加した場合、アバランシェ降伏を起こして素子破壊する場合がありますので  $V_{CE}$  は必ず最大定格の範囲内でご使用ください。
- 4) 万一の不慮の事故で素子破壊した場合を考慮し、商用電源と半導体デバイス間に適切な容量のヒューズまたはブレーカを必ず付けて2次破壊を防いでください。
- 5) 製品の使用環境を十分に把握し、製品の信頼性寿命が満足できるか検討の上、適用して下さい。製品の信頼性寿命を超えて使用した場合、装置の目標寿命より前に素子が破壊する場合があります。
- 6) 本製品はパワーサイクル寿命以下で使用ください。パワーサイクル寿命には  $\Delta T_{vj}$  による場合の他に、 $\Delta T_c$  による場合があります。これはケース温度 ( $T_c$ ) の上昇下降による熱ストレスであり、本製品を使用する際の放熱設計に依存します。ケース温度の上昇下降が頻繁に起こる場合は製品寿命に十分留意してご使用下さい。
- 7) 酸・有機物・腐食性ガス(硫化水素, 亜硫酸ガス等)を発生する場所での使用は避けて下さい。  
酸・有機物・腐食性ガス(硫化水素, 亜硫酸ガス等)を含む環境下で使用された場合、製品機能・外観などの保証は致しかねます。
- 8) モジュールを装置に実装する時などで主端子および制御端子に過大な応力を与えないで下さい。  
端子の変形により、接触不良や端子構造の破壊などを引き起こす場合があります。
- 9) 本製品に使用する端子用のネジの長さは、外形図にしたがい正しく選定下さい。ネジが長いとケースが破損する場合があります。

- 10) FWDのみ使用し、IGBTを使用しない場合(たとえばチョッパ回路等への適用時)は、使用しないIGBTのG-E間に $-5\text{V}$ 以上(推奨 $-15\text{V}$ , 最大 $-20\text{V}$ )の逆バイアス電圧をかけて下さい。逆バイアス電圧が不足するとIGBTがFWD逆回復時の $dv/dt$ によって誤点弧を起こし、破壊する可能性があります。
- 11) ターンオン $dv/dt$ が高いと対向アームのIGBTが誤点弧する可能性があります。誤点弧をさせないための最適な駆動条件( $+V_{GE}$ ,  $-V_{GE}$ ,  $R_G$ ,  $C_{GE}$ )でご使用下さい。
- 12) 製品を過大な温度で半田付けした場合、パッケージの劣化を引き起こす可能性があります。半田付けプロセスに注意してご使用ください。
- 13) ヒートシンクの平坦度はネジ取付け位置間で $100\text{mm}$ で $50\mu\text{m}$ 以下、表面粗さは $10\mu\text{m}$ 以下にして下さい。過大な凸反りがあったりすると本製品が絶縁破壊を起こし、重大事故に発展する場合があります。また、過大な凹反りやゆがみ等があると、製品とヒートシンクの間に空隙が生じて放熱が悪くなり、熱破壊につながる場合があります。
- 14) 制御端子に過大な静電気が印加された場合、素子が破壊する場合があります。取り扱い時は静電気対策を実施して下さい。
- 15) 素子をヒートシンクに取付ける際、熱伝導を確保するためサーマルグリース等をご使用ください。また塗布量が不足したり、塗布方法が不適だったりすると、サーマルグリースが十分に素子全体に拡がらず、放熱悪化による熱破壊につながる事があります。サーマルグリースを塗布する際、製品全面にサーマルグリースが拡がっている事を確認してください。(実装後に素子を取外すとサーマルグリースの拡がり具合を確認する事が出来ます。)
- 16) 仕様書記載のゲート抵抗 $R_G$ はスイッチングロスをも最小化するための推奨抵抗を記載していますが、最適な $R_G$ は使用回路構成や使用環境によって変わります。したがって外付け抵抗 $R_G$ の決定に際してはIGBTモジュールを使用する回路構成や使用環境において、スイッチングロス、EMC/EMI、スパイク電圧、サージ電流や予期しない振動などの特性を充分検討した上で、仕様書に記載の内容から逸脱しないように選定する必要がありますのでご注意ください。
- 17) 一般的にIGBTには一次宇宙線や二次宇宙線による偶発故障モードが存在します。本故障モードは、宇宙空間から飛来する一次宇宙線および一次宇宙線と大気との衝突で誘起された二次宇宙線が照射されることで、素子破壊に到るものです。一次宇宙線の飛来量は高地の方が高く、故障率も高地の方が高くなる傾向があります。一次宇宙線の飛来量は緯度や経度でも異なると言われており、注意が必要です。また印加電圧が高い使用条件でも故障率が高くなります。高地、高電圧条件下で使用する場合当社まで連絡をお願いいたします。
- 18) 本節では主な実使用上の注意点を記載しましたが、詳細につきましてはモジュール個々の仕様書に記載の注意事項、警告内容を遵守いただきますようお願いいたします。