

富士 IGBT モジュール 第3章 適用上の注意事項

Application Manual

 **注意**

本資料の内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2022年3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、
データを確認して下さい。

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、半導体製品はまれに故障、誤作
動が発生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
など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
計など安全確保のための手段を講じて下さい。

本資料の記載内容は工業所有権、その他権利の実施に対する保障または実施権の許諾を行なうもので
はありません。

本資料に記載された製品は、人命にかか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
れることを目的として設計・製造されたものではありません。本資料の製品を車両機器、船舶、航空宇宙、医
療機器、原子力制御、海底中継機器あるいはシステムなど、特殊用途への使用に対して弊社は一切の責
任を負いません。

本資料には製品を保証する項目が記載されていますが、製品が顧客装置に組み込まれた際の特性及び
品質に対して保証するものではありません。製品を使用される際は、製品が使用されるアプリケーションにて
評価いただいた上で、適用側の責任において適用可否を判断して下さい。

富士電機は、適用可否に対する責任を負いません。

第3章 適用上の注意事項

1. IGBTモジュールの選定	3-2
2. 静電気対策及びゲート保護	3-4
3. 保護回路の設計	3-5
4. 放熱設計	3-5
5. ゲート駆動回路の設計	3-6
6. 並列接続	3-6
7. 実装上の注意事項	3-7
8. 保管・運搬上の注意事項	3-9
9. 信頼性上からの注意事項(寿命設計)	3-10
10. その他、実用上の注意事項	3-11

本章ではIGBTモジュールの取り扱い時、及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を選定して下さい。

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

1.2 電流定格

IGBTモジュールのコレクタ電流 I_C が大きくなると、発生する導通損失やスイッチング損失が増大し、素子の発熱が大きくなります。IGBTモジュールはIGBT、FWDのチップ接合温度 T_{vj} が最大接合温度 $T_{vj(max)}$ 以下で使用する必要があるため、 $T_{vj(max)}$ を超えないよう I_C を設定しなければならず、IGBTモジュールの電流定格はそれに対応したものを選択して下さい。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注意して下さい。

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 $\sqrt{2}$ 倍以上を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するため、その装置での発生損失と温度上昇を確認した上で、電流定格を選定して下さい。

1.3 最大定格

製品は仕様書に記載されている最大定格(電圧、電流、温度など)の範囲内で使用して下さい。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。また、絶対最大定格の各項目値はそれぞれの項目に対する保証値であり、組み合わせにおける保証をするものではありません。

最大定格内の使用であっても、温度や使用環境により期待する製品寿命が得られない場合があります。製品の絶対最大定格を参照の上、使用されるシステム・装置などへの富士電機製品の適合性は適用側にて評価・検証の上、判断して下さい。

1.4 RBSOA

IGBTのターンオフ電圧・電流の動作軌跡がRBSOA仕様内にあることを確認して下さい。RBSOAの範囲を超えてIGBTを使用するとIGBTモジュールが破壊する可能性があります。

1.5 ダイオードの突入電流

製品に搭載されている整流ダイオードまたはFWDをダイオード整流器として使用する場合、電源投入時に主回路平滑コンデンサへ充電する突入電流が流れます。充電による単発の突入電流に対する保証値は I_{FSM} (非繰返し)と I_{t} (非繰返し)として表記されていますが、突入電流が製品に頻繁に流れると繰返し電流によるパワーサイクル破壊を起こす可能性があります。突入電流が頻繁に流れるようなアプリケーションでは、パワーサイクル破壊を起こさないように突入電流値を抑えるなど、製品寿命に十分留意して使用して下さい。

電源システムの瞬時電圧低下が生じた場合も同様にコンデンサへ充電する突入電流が流れる場合がありますので、同様に留意して下さい。

一方、落雷などにより、電源から素子の耐圧を超える過渡的な過電圧が製品に伝搬された場合、過電圧で破壊する可能性があります。電源から線間・アース間に入力過電圧が想定される場合は、破壊を回避するため、サージ吸収素子などを挿入して製品に掛かる電圧を仕様内に抑えて下さい。

2. 静電気対策及びゲート保護

IGBTモジュールのG-E間電圧 V_{GE} の保証値 V_{GES} は一般的に最大 $\pm 20V$ です(保証値は仕様書を確認して下さい)。

V_{GES} 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。このためG-E間には V_{GES} を超える電圧を印加しないで下さい。

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 I_C が流れる事によってIGBTが発熱する事が原因です。

IGBTモジュールを装置に組み込んだ後に、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(第7章5.2項参照)。その破壊防止のためにはG-E間に $10k\Omega$ 程度の抵抗 R_{GE} を接続することを推奨します。

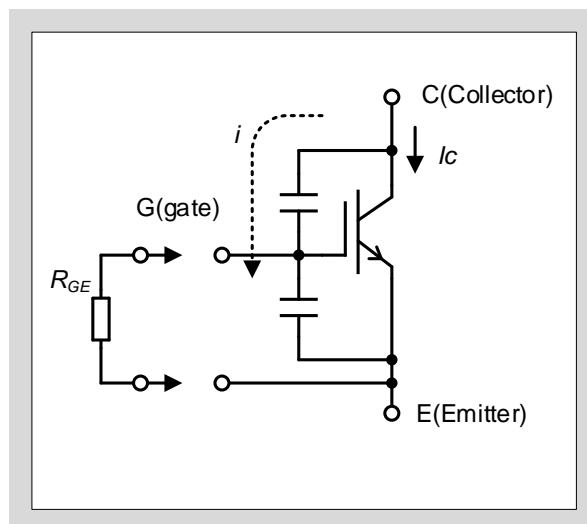


図3-1 G-E間オープン状態でのIGBTの振る舞い

また、IGBTのゲートは静電気に対して非常に弱いいため、以下に示す注意点を守って製品を取り扱って下さい。

- (1) 開梱後、IGBT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。
- (2) IGBTモジュールの端子は静電気対策を施していませんので、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下さい。
- (3) 端子へのはんだ付作業を行なう場合、はんだゴテ、はんだバスのリークによる静電気がIGBTに加わらないように、はんだゴテ先などを十分低い抵抗で接地して下さい。

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状態により破壊する可能性があります。したがって、その異常状態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サージ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、そちらを参照して下さい。

4. 放熱設計

IGBTモジュールには、許容できる $T_{vj(max)}$ が定められており、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は、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して下さい。

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、実機運転中に素子の T_{vj} が $T_{vj(max)}$ を超え破壊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して下さい。

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、保護回路の設計にも密接に関わってきます。

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及びターンオフ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。

逆バイアスゲート電圧 $-V_{GE}$ が不足すると誤点弧を起こす可能性があります。誤点弧を起こさないために $-V_{GE}$ は十分な値で設定して下さい。

また、 dv/dt が高いと対向アームIGBTの誤点弧や、ゲート過電圧を起こしたり、電源ラインにノイズが伝搬する可能性があります。誤点弧、ゲート過電圧、予期しない電源ノイズを起こさないための最適なドライブ条件($+V_{GE}$ 、 $-V_{GE}$ 、 R_G 、 C_{GE})を検討して下さい。

またIGBTモジュールとゲート駆動回路間の配線長が長い場合、製品端子のゲート電圧が過渡的に変動し製品が過電圧破壊する場合があります。ゲート過電圧破壊を防止するために、適切なゲート配線設計とゲート電圧の確認を実施して下さい。

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して下さい。

6. 並列接続

大容量インバータなどの大電流を制御する用途に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などで変わってくるため、並列接続した各素子のC-E間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を合わせる、主回路配線を均等にするといった管理・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して下さい。

なお、6-Pack、PIM、IPM、Small IPMは並列接続の使用を前提に設計しておりませんので、並列接続での使用は保証できません。

7. 実装上の注意事項

7.1 ヒートシンク取り付け

IGBTモジュールをヒートシンクに取り付ける際には、冷却を確保するためのサーマルグリスなどを使用して下さい。サーマルグリスを薄く均一に広げるために、ヒートシンクの平坦度、表面粗さは仕様書記載の推奨値の範囲内として下さい。

サーマルグリス塗布量の不足、不適な塗布方法により、サーマルグリスが十分に素子全体に広がらず、放熱悪化による熱破壊に繋がる事があります。塗布量や塗布方法の可否の判断として、IGBTモジュール全面にサーマルグリスが広がっている事を確認して下さい。(実装した後に素子を取りはずすとサーマルグリスの広がり具合を確認する事が出来ます。)

IGBTモジュール取付穴付近のサーマルグリス量が過剰だと、サーマルグリス自身がスペーサとなり、サーマルグリスの広がりが阻害され放熱性の悪化を引き起こします。

また、サーマルグリスの種類・塗布方法によっては、高温動作時や温度サイクルでサーマルグリスの劣化や枯渇が発生し、製品寿命が低下する可能性があります。サーマルグリスの選定と塗布方法には十分留意して使用して下さい。

ヒートシンクのIGBTモジュール取付面において、ネジ取り付け位置間で平面度を100mmで50 μ m以下、表面の粗さを10 μ m以下にして下さい。過大な凸反りがあるとIGBTモジュール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。過大な凹反りやゆがみなどがあると、IGBTモジュールとヒートシンクの間に空隙が生じて放熱が悪くなり、熱破壊に繋がる可能性があります。

サーマルグリスの選定と塗布方法及びIGBTモジュールのヒートシンクへの適切な取り付け方法については、対象製品のマウンティングインストラクションを参照して下さい。

※ 注意

ヒートシンクに要求される表面平面度・粗さがPrimePACK™ *は他製品と異なります。詳細はマウンティングインストラクションを参照して下さい。

*PrimePACK™はInfineon Technologies社の登録商標です。

7.2 端子配線

IGBTモジュール端子をはんだで接合する場合、過度な高温ではんだ付けするとパッケージの劣化を引起す可能性があります。はんだ付けプロセスでは注意して使用して下さい。

リフローはんだ付け工程で使用された場合、IGBTモジュール内部のはんだが再溶融し品質を損なう可能性があります。この場合、製品性能・外観などについて、富士電機は責任を負いません。

使用するバスバーが不適切な場合、主端子の温度が保存温度以上になることがあります。主端子も保存温度範囲内で使用して下さい。

主端子及び制御端子に過大な応力(引張り、押し込み、曲げ)を与えると端子の変形、ケース樹脂割れが発生し、接触不良、絶縁不良を引き起こす場合があります。主端子及び制御端子の最大許容応力については、各パッケージのマウンティングインストラクションを参照して下さい。

IGBTモジュール端子がネジの場合の締め付けトルクは、仕様値の範囲内で使用して下さい。端子ネジの締め付けトルクが過大だとケース割れによる絶縁不良が発生したり、トルクが小さいと接触抵抗が増加し端子の発熱が増加する場合があります。

また振動などによりネジが緩む場合が想定されますので、緩み難いネジの選定、適正なトルクでの締め付け、増し締めなどで緩みの発生を抑えて下さい。IGBTモジュールに使用する端子ネジは、仕様書記載の外形図を参照し、適切な長さのネジを選定して下さい。仕様書記載の許容値よりも長いネジなどを挿入した場合はIGBTモジュールが破損し、地絡、絶縁不良が発生する場合があります、その場合、富士電機は責任を負いません。

使用するプリント基板が不適切な場合、主端子ピンの温度が保存温度以上になることがあります。主端子ピンも保存温度範囲内で使用して下さい。主端子及び制御端子に過大な応力(引張り、押し込み、曲げ)を与えると端子の変形、ケース樹脂割れが発生し、接触不良、絶縁不良を引き起こす場合があります。

主端子及び制御端子の最大許容応力については、各パッケージのマウンティングインストラクションを参照して下さい。

フタ変形を伴うような応力を加えないで下さい。押し込み方向ではIGBTモジュールの内部回路が破損する恐れがあります。又、引っ張り方向では、フタが外れる恐れがあります。

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℃、湿度は45～75%を推奨します。特にモールドタイプの製品の場合、乾燥する地域では加湿が必要です。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はんだ付不良となることがあります。
- (6) IGBTモジュールを入れる容器は静電気を帯びにくいもの、あるいは弊社出荷時の容器として下さい。
- (7) 保管棚などは全て金属にし、接地して下さい。

8.2 運搬

- (1) IGBTモジュールの運搬時に衝撃を与えたり、落下させたりしないで下さい。
- (2) 多数の半導体デバイスを箱に入れて運搬する時は、接触電極面などを傷つけないようにやわらかいスペーサをIGBTモジュール相互間に入れて下さい。
- (3) G-E間に静電気が加わらないように、導通性袋やアルミ箔などで静電気対策を行い運搬して下さい。

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に、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、運転条件によっては寿命が短くなることがあります。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あります。

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(P/C)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問題が発生する可能性があります。そのため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して下さい。

IGBTモジュールは、図11-5に記載されているP/C寿命以下で使用して下さい。ただし、図11-5はVシリーズの特性になります。Xシリーズ以降は特性が異なります。詳細は技術資料を参照して下さい。P/Cにはこの ΔT_{vj} による場合の他に、 ΔT_c による場合があります。IGBTモジュールの ΔT_c -P/C寿命は、ケース温度 T_c の上昇下降による熱応力に依存するため、適用する装置の放熱設計により、IGBTモジュールの寿命が大きく影響されます。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使用して下さい。

IGBTモジュールの寿命を超えて使用した場合、製品劣化・品質劣化が生じ、最悪の場合、IGBTモジュールが破壊に至る場合があります。IGBTモジュールを組み込む装置の使用環境を十分に把握し、目標寿命を満足することを検討の上、IGBTモジュールを適用して下さい。

10. その他、実使用上の注意事項

万一の不慮の事故で素子が破壊した場合を考慮し、電源と製品の間適切な遮断器などを必ず付けて火災、爆発、延焼などの2次破壊を防いで下さい。

酸・アルカリ・有機物・腐食性ガス(硫化水素、亜硫酸ガスなど)・腐食性の液体(切削液など)を含む環境下ではIGBTモジュールに酸化や腐食が生じ接触不良・断線・短絡・地絡など、故障の原因となりますので使用は避けて下さい。

万一短絡・地絡などが発生すると、副次的に発煙・発火・破裂の恐れが想定されます。これら腐食性物質を含む条件下で使用された場合、条件(温度・湿度・濃度など)によらず富士電機は責任を負いません。

IGBTモジュールが急激な温度変化のある環境下で使用された場合、結露により短絡・地絡が発生することが想定されます。

万一短絡・地絡などが発生すると、副次的に発煙・発火・破裂の恐れが想定されます。IGBTモジュールが結露するような環境下で使用した場合、富士電機は責任を負いません。

高い湿度環境において製品、或いは装置組立後の保管後に動作を行なう場合は、十分に水分を放出させたのちに装置稼働を実施して下さい。

IGBTモジュールは粉塵の発生する環境下での使用を想定して設計されておりません。粉塵が発生する環境で使用された場合、ヒートシンクの見詰まりによる放熱性の悪化や、端子間のリークや沿面放電による短絡・地絡が発生する場合があります。(粉塵が繊維などの絶縁物であっても、吸湿する事でリークが生じる場合があります。)

一般的に半導体素子には、宇宙由来の高速粒子(宇宙線)及び放射線による偶発故障モードが存在します。本故障モードにおける故障率は、設置場所(緯度、経度、高度)、設置環境、使用条件(電圧)によって変わります。

高地や高電圧条件下で御使用される場合は、富士電機まで連絡して下さい。

また、IGBTモジュール製品は海拔2000m以下の使用環境に適合するように端子間距離などを設計しており、これを超える環境下又は気圧の低い環境下で使用される場合は、富士電機は責任を負いません。