

(高耐圧 IGBT モジュール)
取扱説明書

株式会社 日立パワーデバイス

2009. 12 月発行

2009 年 Hitachi Power Semiconductor Device, Ltd.

－ 重要なお知らせ －

- この取扱説明書は、当社製品高耐圧 IGBT モジュール(以下、本製品)を担当される取扱者の手近なところに保管しておいてください。
なお、本製品の保証や詳細な契約については、別途「契約書」を参照してください。
- 本製品の取扱者は、使用前に必ずこの取扱説明書と本書に示す関連図書を熟読し、機器の知識、安全の情報や注意事項、操作・取扱方法などの指示に従い、正しくご使用ください。
- 常に、この取扱説明書に記載してある各種仕様範囲を守ってご使用ください。
また、正しい点検や保守を行い、故障を未然に防止するようにしてください。
絶対最大定格値を超えて使用された場合や天変地異などの不可抗力による半導体デバイスの故障および二次的損害につきまして、当社はその責任を負いません。
- この取扱説明書に記載していない操作・取扱い・改造および記載内容に従わない使用や動作を行わないでください。製品の故障、人身災害の原因になることがあります。
これらに起因する事故については、当社は一切の責任を負いません。
本取扱説明書に記載された情報・製品や回路の使用に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。
- この取扱説明書で理解できない内容、疑問点、不明確な点がございましたら、最寄りの日立パワーデバイスの支社、または以下の担当部署(あるいは当社出張員)にお問合わせください。
- この取扱説明書の記載内容は、当社に知的所有権があります。全体あるいは部分にかかわらず文書による了解なく第三者へ公開しないでください。
- 本取扱説明書に掲載されてある本製品の仕様、寸法などは特性向上のため予告なく変更する場合があります。ご注文の際は必要に応じて当社営業窓口にご連絡いただき、最新の仕様および使用上のご注意を記した仕様書またはカタログを参照してください。
- 本取扱説明書によって、第三者または当社の特許権やその他権利の実施権を許諾するものではありません。
- 本取扱説明書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します。
- 半導体デバイスおよび包装材を廃棄・処理する際には、それぞれの国または地域で定めた法律や条例を遵守してください。
- 本資料に記載された製品(技術)を国際的平和および安全の維持の妨げとなる使用目的に有する者に再提供したり、またそのような目的に自ら使用したり第三者に使用させたりしないようにお願いします。なお、輸出等される場合は外為法の定めるところに従い必要な手続きをおとりください。
- 運転不能、故障などが発生した場合は、すみやかに次のことを以下の担当部署または最寄りの日立パワーデバイスの支社にご連絡ください。
 - ・ 当該品の銘板内容または仕様(品名、製造番号、容量、形式、製造年月など)
 - ・ 異常内容(異常発生前後の状態を含め、できるだけ詳細に)


〒319-1221 茨城県日立市大みか町五丁目2番2号
株式会社 日立パワーデバイス
TEL : (0294) 55-6841 (直通)
FAX : (0294) 55-9953


安全上のご注意


半導体デバイスご使用の前に、この取扱説明書と本書に示す関連図書をすべて熟読し、正しくご使用ください。機器の知識、安全の情報、そして注意事項のすべてについて習熟してからご使用ください。

この取扱説明書では、安全上の注意事項のランクを「警告」「注意」として区分してあります。

表示の定義

 **警告** : 取扱いを誤った場合に、死亡または重傷を負う危険な状態が生じることが想定される場合。

 **注意** : 取扱いを誤った場合に、軽傷を負うかまたは物的損害のみが発生する危険な状態が生じることが想定される場合。

なお、 **注意** に記載した事項でも、状況によっては重大な結果に結びつく可能性があります。いずれも重要な内容が記載してありますので、守ってください。

※損害の程度の分類は、以下を参考とする。

重傷 : 失明、けが、やけど(高温・低温)、感電、骨折、中毒などで後遺症が残るものおよび治療に入院、長期の通院を要するもの。

軽傷 : 治療に入院や長期の通院を要さないもの。(上記以外)

物的損害 : 財産の破損および機器の損傷に関わる拡大損害を指す。

これら安全上の注意は、半導体デバイスの安全に関して、必要な安全性を確保するための原則に基づき、製品本体における各種対策を補完する重要なものです。お客様は、機器、施設の安全な運転および保守のために各種規格、基準に従って安全施策を確立してください。

上記警告表示とは別に、当該製品の損傷防止および正常動作に必要な事項を **重要事項** として記載してあります。これらの内容も守ってください。

<全般的注意事項>

●半導体デバイスは、偶発的または予期せぬサージ電圧などによって故障する場合がありますので、故障しても拡大被害が出ないような冗長設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分注意してください。

●半導体デバイスは、人命にかかわる装置用として特別に開発したものではありません。

極めて高い信頼性が要求される用途（原子力制御用、航空宇宙用、交通機器、ライフサポート関連の医療機器、燃焼制御機器、各種安全機器など）に使用される場合には、特に高信頼性が確保された半導体デバイスを使用され、さらに、使用側でフェイルセーフなどを配慮した安全確保をしてください。


また、当社営業窓口にご照会ください。

（半導体デバイスが故障すると、結果として半導体デバイス、または配線、配線パターンなどが発煙、発火、あるいは半導体デバイスが破裂する場合があります。）


●大電流負荷試験

実機で起こりうる電流、電圧、周波数、パルス幅条件等をカバーする実負荷試験を行ってください。

以下の警告表示は、半導体デバイスに関するものです。これらの警告表示が守られなかった場合は、死亡または重傷を負う危険な状態が生じる恐れがあります。なお、このリストの順序は決して重要度の順序ではありません。各項目がすべて重要です。

 警告	記載ページ
<p>(7章. 事故時の注意事項)</p> <p>(7-1. 警告事項)</p> <p>(7-1-1. パッケージの破裂に対する警告事項)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●負荷短絡やアーム短絡が発生した場合、短時間(数 us 程度)の間に、IGBT モジュールをターンオフさせてください。 パッケージが破裂することがあります。 	<p>35</p>
<p>(7-1-2. 火傷、感電に対する警告事項)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●通電中は、製品に触れたり近づいたりしないでください。 火傷、感電の恐れがあります。 	<p>35</p>

以下の注意表示は、半導体デバイスに関するものです。これらの注意表示が守られなかった場合は、軽傷を負うかまたは物的損害のみが発生する危険な状態が生じる恐れがあります。なお、このリストの順序は決して重要度の順序ではありません。各項目がすべて重要です。

 注意	記載ページ
<p>(2章. スペックの注意事項)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●半導体デバイスを用いる電子回路の設計にあたっては、使用中いかなる外部条件の変動においても、そのデバイスに指定された『絶対最大定格』を超えないようにしてください。 また、パルスの用途の場合は、さらに、『安全動作領域(SOA)』の定格を超えないようにしてください。 	3
<p>(7章. 事故時の注意事項)</p> <p>(7-2. 注意事項)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●IGBT 破壊後に、長時間(数百 us 程度)短絡電流が流れないようにしてください。 発煙、発火の恐れがあります。 	35

来 歴 一 覧 表

改訂 No.	来歴(改訂内容および理由)	年 月 日	作成	審査	承認	備考
改訂 0	新規発行	2000. 10. 12	古賀	黒須	上原	
改訂 1	3-1 デレティング項 内容訂正 (P7) 3-7 熱抵抗と放熱設計項 内容訂正 (P20)	2002. 10. 23	加藤	齊藤	古賀	
改訂 2	内容訂正 <ul style="list-style-type: none"> ・ 表紙 ・ 重要なお知らせ ・ 安全上の注意 ・ 目次 ・ 本文 1-1 形名の付け方 1-3 モジュールの基本構造 2-1 スペックの記載項目 3-4 ダイナミックアバランシェ 3-7 熱抵抗と放熱設計 3-8 デットタイム 4-1 IGBT モジュールの冷却フィンへの取付け 4-2 端子への取付け 5-3 信頼性試験	2009. 12. 15	中村	小池	QA/阿部	

はじめに

本取扱説明書は、半導体デバイス的一种である IGBT モジュールの仕様(スペック)、特性表、外形寸法図および使用上の注意事項に関する説明書で、IGBT モジュール単体の試験または IGBT モジュールを使用したインバータなどの電気機器の設計、製造、試験に関連する業務に従事する人を対象にしています。また、本取扱説明書の内容を理解し適正に使用するためには、工業高校の電気科卒業または同等の教育程度の知識を必要とします。

IGBT モジュールとは、ゲートに印加する電圧を制御することによって、主回路電流のオンオフを制御する電圧制御形半導体スイッチです。

本取扱説明書は、この IGBT モジュールの機能を円滑かつ安全に発揮させるために必要な取扱方法について記述したものです。

本取扱説明書の記載内容は、改良などのため予告なく変更する場合があります。

最新情報（各製品の個別仕様やアプリケーションに関する詳細）は、Web サイト

(<http://www.hitachi-power-semiconductor-device.co.jp>) をご参照ください。

不明な場合は、当社営業窓口までお問合せください。

用語・略語の説明

本取扱説明書に使用している用語・略語については、下表を参照してください。

用語・略語	原語	意味
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor	金属-酸化膜構造電界効果トランジスタ
FWD	Fly Wheel Diode	環流用ダイオード ここでは、IGBT と逆並列に接続されているダイオードのこと
RBSOA	Reverse Biased Safe Operating Area	逆バイアス安全動作領域

本書の構成

本書では、半導体デバイス的一种である IGBT モジュールの仕様(スペック)、特性表、外形寸法図および使用上の注意事項について説明しています。IGBT モジュール単体の試験、または IGBT モジュールを使用した電気機器の設計、製造、試験の業務に関係する方々は、本書をよく読んで理解してから、指示に従ってご使用ください。

本書の内容は、以下のように構成されています。

- 1 章. IGBT モジュール：IGBT モジュールの形式名のつけ方、構造、動作原理について説明しています。
- 2 章. スペックの記載事項：スペックの記載内容を説明しています。
- 3 章. 使用上のご注意：IGBT モジュールを使用するうえでの注意事項について説明しています。
- 4 章. 取付け上のご注意：IGBT モジュールを取り付けるうえでの注意事項について説明しています。
- 5 章. 信頼性：IGBT モジュールの信頼性および品質保証について説明しています。
- 6 章. トラブル時の対応：IGBT モジュールの故障モードと電気的特性の確認方法を説明しています。
- 7 章. 事故時の注意事項：IGBT モジュール事故時、安全上の注意事項について説明しています。

目 次

- 1 章. IGBT モジュール
 - 1-1. 形名のつけ方 ……P1
 - 1-2. 製造ロット番号の見方 ……P1
 - 1-3. モジュールの基本構造 ……P1
 - 1-4. IGBT 素子の構造 ……P2
 - 1-5. IGBT の等価回路と動作原理 ……P2

- 2 章. スペックの記載事項
 - 2-1. スペックの記載項目 ……P3
 - 2-2. 特性カーブ ……P4
 - 2-3. IGBT モジュールの用語と記号 ……P5
 - 2-4. IGBT モジュールの各特性定義図 ……P6

- 3 章. 使用上のご注意
 - 3-1. ディレーティング ……P7
 - 3-2. スナバ回路 ……P8
 - 3-3. ゲートドライブ ……P11
 - 3-4. ダイナミックアバランシェ ……P13
 - 3-5. 並列接続 ……P14
 - 3-6. 損失計算 ……P18
 - 3-7. 熱抵抗と放熱設計 ……P20
 - 3-8. デッドタイム ……P22
 - 3-9. 短絡保護 ……P24

- 4 章. 取付け上のご注意
 - 4-1. IGBT モジュールの冷却フィンへの取付け ……P25
 - 4-2. 主端子への取付け ……P27
 - 4-3. 取り付ける環境 ……P27
 - 4-4. 保管・運搬上の注意事項 ……P27
 - 4-5. 静電破壊に対する注意事項 ……P28
 - 4-6. IGBT モジュールの回路配置、配線方法 ……P28
 - 4-7. 測定上の注意事項 ……P28

- 5 章. 信頼性
 - 5-1. 故障率 ……P29
 - 5-2. 故障因子 ……P29

- 5-3. 信頼性試験 ……P30
- 5-4. 品質保証体系図 ……P32

6章. トラブル時の対応

- 6-1. IGBT モジュールの故障モード(電氣的故障モード) ……P33
- 6-2. デバイスチェック方法 ……P34

7章. 事故時の注意事項

- 7-1. 警告事項 ……P35
- 7-2. 注意事項 ……P35

目 次

図番号	名 称	ページ番号
図 1.1	IGBT モジュールの基本構造	-1-
図 1.2	素子構造	-2-
図 1.3	等価回路	-2-
図 1.4	IGBT の動作原理	-2-
図 2.1	IGBT スイッチング特性(t_{on} 、 t_{off})の定義図	-6-
図 2.2	ダイオード逆回復特性(t_{rr})の定義図	-6-
図 3.1	スナバ回路の種類と特徴	-8-
図 3.2	下アーム IGBT ターンオフモード	-8-
図 3.3	左図過渡状態の等価回路	-8-
図 3.4	スナバ回路使用時の IGBT 電流 I_c 、電圧 VCE 波形	-9-
図 3.5	スナバ回路各部波形	-9-
図 3.6	IGBT スイッチング時の各電流、電圧波形例	-11-
図 3.7	ゲート電荷(QG)特性	-11-
図 3.8	ドライブ電圧とゲート電荷特性	-12-
図 3.9	ターンオフ時波形例	-13-
図 3.10	ダイナミックアンバランスが発生する領域例	-13-
図 3.11	並列接続されたモジュールとドライバ回路の接続例	-15-
図 3.12	並列接続時の主配線インダクタンス	-16-
図 3.13	アンバランス電流の均等化	-16-
図 3.14	並列接続時の動作(スナバレス)	-17-
図 3.15	並列接続時の動作(スナバ付)	-17-
図 3.16	I_c -VCE 特性図	-18-
図 3.17	SW. Loss- I_c 特性図	-18-
図 3.18	IF-VF 特性図	-19-
図 3.19	温度測定位置	-20-
図 3.20	熱等価回路	-20-
図 3.21	温度リップル	-21-
図 3.22	過渡熱抵抗	-21-
図 3.23	インバータ動作の温度リップル	-21-
図 3.24	主回路構成例(上下アーム 1 相構成)	-22-
図 3.25	制御信号、ドライバ電圧および IGBT コレクタ電圧の関係	-22-

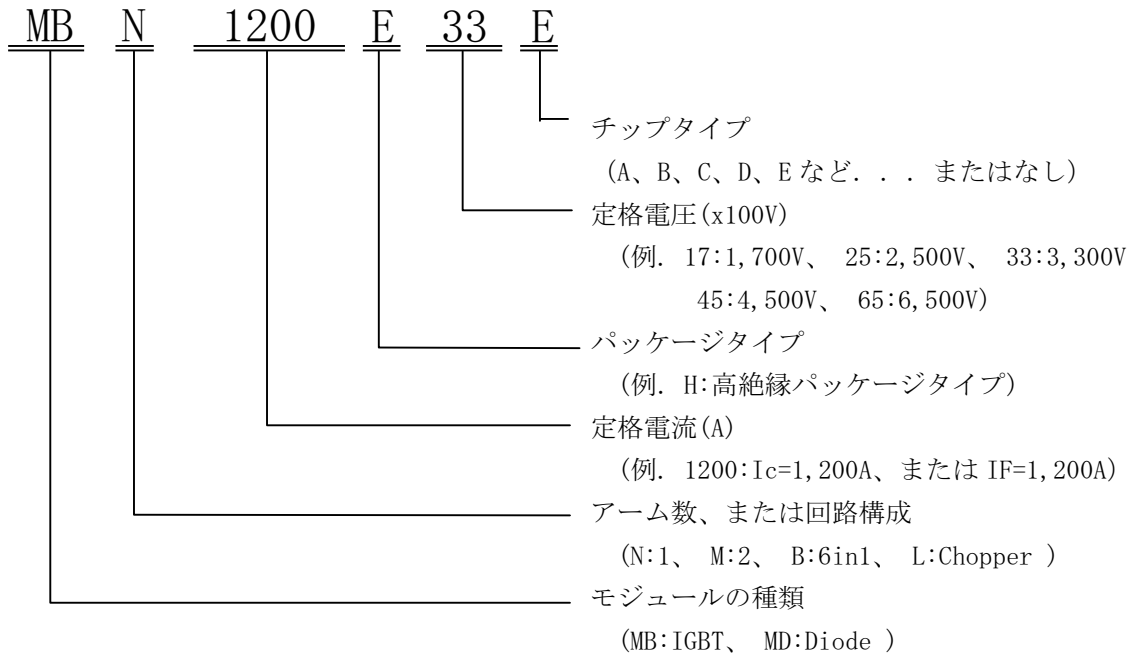
図 3.26	検証回路構成(ハーフブリッジ回路)	-23-
図 3.27	制御信号と上下アームゲート波形	-23-
図 3.28	上下アーム短絡有無での波形観測例	-23-
図 3.29	短絡保護方式による電流電圧波形の違い	-24-
図 4.1	スクリーンによるグリース塗布方法	-25-
図 4.2	IGBT モジュール締付け順序	-26-
図 4.3	不適切な放熱板への取付け例	-26-
図 4.4	モジュール側ねじ穴の断面図	-27-
図 5.1	半導体デバイスの故障率(バスタブカーブ)	-29-
図 6.1	IGBT モジュールの故障モード	-33-

表 目 次

表番号	名 称	ページ番号
表 2.1	スペックシート(例)	-3-
表 2.2	特性カーブの項目について	-4-
表 2.3	用語の記号と定義	-5-
表 3.1	短絡保護方式の例	-24-
表 4.1	IGBT モジュール取付け部の推奨トルク値	-25-
表 4.2	推奨グリースとその比重	-25-
表 4.3	推奨の取付け穴径と面取り値(mm)	-26-
表 4.4	スクリー端子部取付け時のトルク	-27-
表 4.5	ねじ穴各部の寸法	-27-
表 5.1	故障の原因	-29-
表 5.2	信頼性試験の種類と内容	-30-
表 5.3	信頼性試験の種類と試験条件	-31-
表 5.4	当社での品質保証体系図	-32-
表 6.1	素子特性の確認方法(参考)	-34-

1章. IGBT モジュール

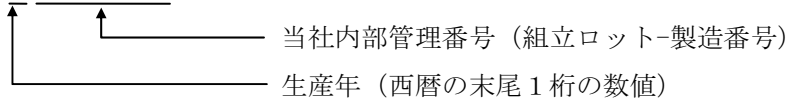
1-1. 形名のつけ方



1-2. 製造ロット番号の見方

モジュール製品に表示される銘板には、上記の形式以外に、以下のような製造ロット番号が表示されています。

製造ロット番号の例： 9 0 6 4 0 4



1-3. モジュールの基本構造

(例；一相モジュール)

図 1.1 に、一相モジュールの基本構造を示します。

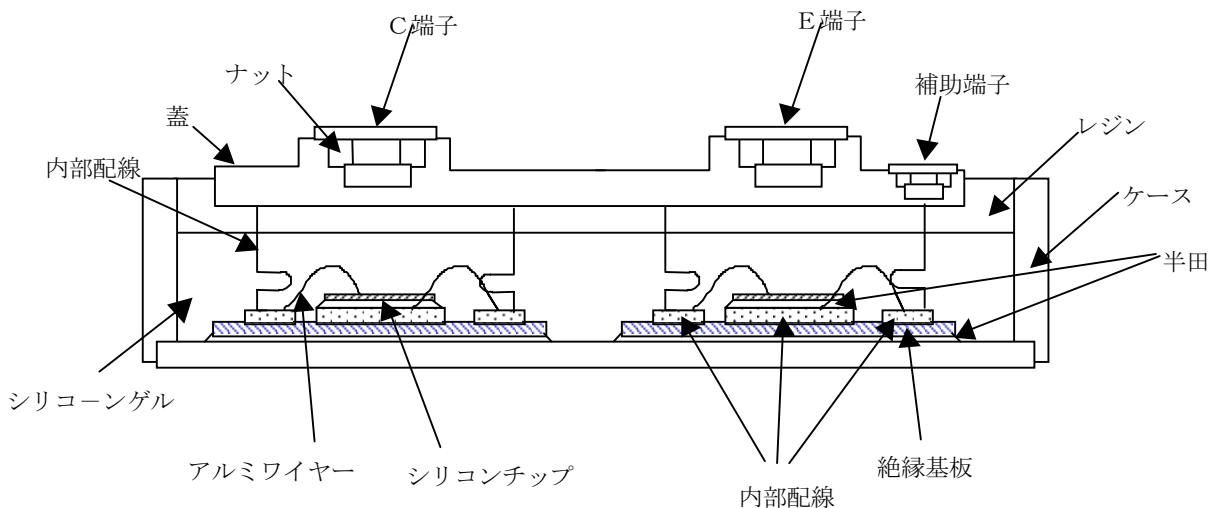


図 1.1 IGBT モジュールの基本構造

1-4. IGBT 素子の構造

IGBT のチップ構造を図 1.2 に示します。IGBT は、パワーMOSFET (n チャンネル) の構造とよく似ています。パワーMOSFET が N-N 基板としているのに対し、IGBT は P-N 基板となります。P+層の追加によって、寄生の pnp トランジスタが形成されます。

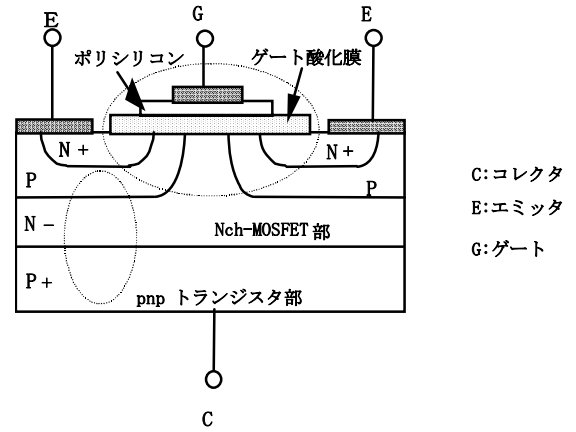


図 1.2 素子構造

1-5. IGBT の等価回路と動作原理

1-5-1. IGBT の等価回路

IGBT の等価回路記号を図 1.3 に示します。記号、等価回路は同図のように表されます。等価回路において、npn トランジスタのベース・エミッタ間抵抗は非常に小さく設計され、pnp トランジスタとの連動で起こるラッチアップ現象を防いでいます。

IGBT モジュールの場合、FWD が並列に接続されるのが一般的であり、この場合は、ダイオード記号が IGBT に並列に接続されます。

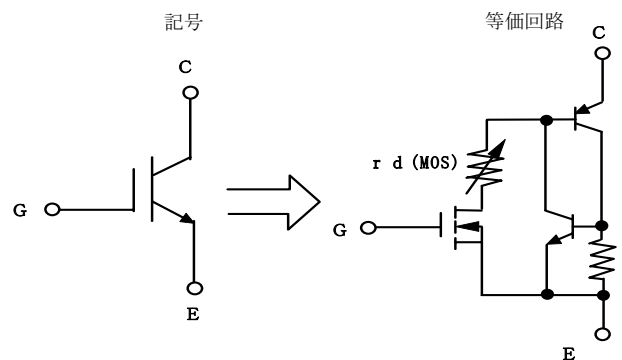


図 1.3 等価回路

1-5-2. IGBT の動作原理

IGBT の動作原理を図 1.4 に示します。ゲート、エミッタ間への電圧印加によって MOSFET 部がオンとなり、MOSFET のドレイン電流が pnp トランジスタのベース電流となって流れます。このベース電流によって pnp トランジスタ部がオンし、IGBT がオン状態になります。ゲート、エミッタ間電圧がしきい値電圧以下 (ゼロ、または負バイアス) になると、MOSFET 部のドレイン電流がなくなり、pnp トランジスタ部のベース電流もゼロとなって、IGBT はオフとなります。IGBT はこのように、MOSFET と pnp トランジスタの複合素子ですが、一つのチップに構成することによって、導通時に伝導度変調と呼ばれる現象が発生し、電流導通時の抵抗を大きく減少させることができます。

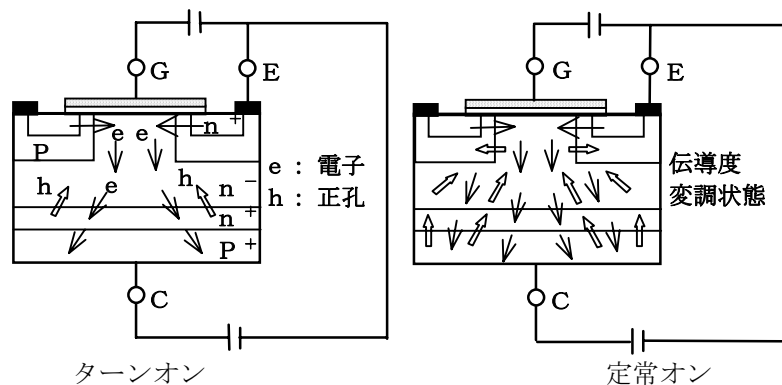


図 1.4 IGBT の動作原理

2-2. 特性カーブ

IGBT モジュールの代表的な特性カーブの項目、内容と使用目的を表 2.2 に示します。

表 2.2 特性カーブの項目について

No.	特性カーブの項目	特性の内容	使用目的
1	コレクタ電流－コレクタ・エミッタ間電圧特性 <I _c －V _{CE} >	コレクタ－エミッタ間電圧とコレクタ電流との関係を表す。 パラメータはゲート－エミッタ間電圧。	IGBT の導通に伴う発生損失を求める場合に使用する。 125℃時のデータを用いる。
2	コレクタ・エミッタ間電圧－ゲート・エミッタ間電圧特性 <V _{CE} －V _{GE} >	コレクタ－エミッタ間電圧とゲート－エミッタ間電圧との関係を表す。 パラメータはコレクタ電流。	IGBT をオンさせるためのゲート－エミッタ間電圧の必要範囲を示す。 一般的に V _{GE} =15V として用いられる。
3	ゲート電荷特性 <V _{GE} －Q _G >	ゲートチャージ電荷量とゲート－エミッタ間電圧との関係を表す。	IGBT を駆動するのに必要な電荷量を示し、ドライバ回路の出力に関する電源容量を求めるために使用する。
4	ダイオード順電圧特性 <I _F －V _F >	モジュール内蔵ダイオードの順特性を表す。	内蔵ダイオードの導通に伴う発生損失を求める場合に使用する。 125℃時のデータを用いる。
5	スイッチング時間－コレクタ電流特性 <I _c －t>	IGBT のターンオン、ターンオフ各スイッチング時間のコレクタ電流依存性を表す。	スイッチング時間への影響パラメータを検証する。特に上下アーム駆動による非ラップ期間(デッドタイム)の設定に使用する。
6	スイッチング時間－ゲート抵抗特性 <I _c －R _G >	IGBT のターンオン、ターンオフ各スイッチング時間のゲート抵抗依存性を表す。	同上
7	スイッチング損失－コレクタ電流特性 <SW. Loss－t>	IGBT のターンオン、ターンオフ各スイッチングに伴う発生エネルギー値のコレクタ電流依存性を表す。	スイッチングに伴う発生損失計算に使用する。 インダクタンス負荷回路での 1 パルス当たりの発生エネルギーであり、スイッチング周波数(キャリア周波数)から損失を求める場合に使用する。
8	スイッチング損失－ゲート抵抗特性 <SW. Loss－R _G >	IGBT のターンオン、ターンオフ各スイッチングに伴う発生エネルギー値のゲート抵抗依存性を表す。	同上

2-3. IGBT モジュールの用語と記号

表 2.3 用語の記号と定義

用語	記号	定義
コレクタ・エミッタ間電圧	VCES	ゲート・エミッタ間を直流的に短絡したとき、コレクタ・エミッタ間に印加し得る電圧の最大値。
ゲート・エミッタ間電圧	VGES	コレクタ・エミッタ間を直流的に短絡したとき、ゲート・エミッタ間に印加し得る電圧の最大値。
コレクタ電流	IC	許容コレクタ損失の限度内において、コレクタに連続的に流し得る直流電流の最大値。
コレクタ損失	PC	規定の温度条件において、素子に連続的に消費させ得るコレクタ損失の最大値。
接合温度	Tj	定格の基準として定められた接合部の温度で、素子の動作上の許容範囲で示される。ただし、周囲温度は Tstg 範囲内の必要あり。
保存温度	Tstg	この温度にさらされても電気的特性に異常をきたさない範囲。
締付トルク	—	素子を冷却片、または支持物にねじ、ボルトなどで取り付けるとき、ねじ部、および接触部に指定のグリースを使用して許容されるトルクの最大値。 端子部に配線材などをねじ、ボルトなどで取り付けるとき、許容されるトルクの最大値。
コレクタ・エミッタ間遮断電流	ICES	指定された条件のもとで、遮断状態のコレクタ・エミッタ間に電圧を印加したとき、コレクタに流れる電流。ただし、ゲート・エミッタ間は、直流的に短絡した条件下とする。
ゲート・エミッタ間漏れ電流	IGES	指定された条件のもとで、ゲート・エミッタ間に電圧を印加したとき、ゲートに流れる電流。ただし、コレクタ・エミッタ間は、直流的に短絡した条件下とする。
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	VCE(sat)	指定された条件のもとで、コレクタ電流を通电したとき、飽和状態でのコレクタ・エミッタ間電圧。 製品において、その端子構成の違いによって、コレクタ・エミッタ各主端子間電圧の場合と、コレクタセンス端子・制御用エミッタ端子間電圧の場合がある。
しきい値電圧	VGE(TO)	指定された条件のもとで、ゲート・エミッタ間に電圧を印加して、コレクタ電流が流れ始めるとき（しきい値領域）のゲート・エミッタ間電圧。流れはじめのコレクタ電流は、定格の 1,000 分の 1 と定義。
入力容量	Cies	指定された条件のもとでのゲート・エミッタ間端子間容量。
帰還容量	Cres	指定された条件のもとでのゲート・コレクタ間端子間容量。
出力容量	Coes	指定された条件のもとでのコレクタ・エミッタ間端子間容量。
ターンオン時間	ton	指定された条件のもとで、ゲート電圧が順バイアス最大振幅の 10% に達したときから、素子がオン状態に遷移して、コレクタ・エミッタ間電圧が初期値の 10% になるまでの時間。
ターンオン遅れ時間	td(on)	ゲート電圧が順バイアス最大振幅の 10% に達したときから、コレクタ・エミッタ間電圧が初期値の 90% になるまでの時間。
上昇時間	tf	コレクタ・エミッタ間電圧が、初期値の 90% から 10% になるまでの時間。
ターンオフ時間	toff	指定された条件のもとで、ゲート電圧が順バイアス最大振幅の 90% に達したときから、素子がオフ状態に遷移して、コレクタ電流が初期値の 10% になるまでの時間。
ターンオフ遅れ時間	td(off)	ゲート電圧が順バイアス最大振幅の 90% に達したときから、コレクタ電流が初期値の 90% になるまでの時間。
下降時間	tr	コレクタ電流が初期値の 90% から 10% になるまでの時間。
熱抵抗	Rth(j-c)	連続通電中の熱的定常状態において、接合ケース間の温度差の接合部単位電力損失あたりの値で、単位は°C/W。
逆回復時間（ダイオード）	trr	指定された回路および温度条件下において、ダイオードの逆回復電流が消滅するのに要する時間。
順電流（ダイオード）	IF	指定された条件のもとで、モジュール内部のダイオード（FWD）の順方向に流す電流。
順電圧降下（ダイオード）	VF	指定された条件のもとで、ダイオードに順方向電流(IF)を流した時のエミッタ（アノード）、コレクタ（カソード）各端子間の電圧降下の値。

2-4. IGBT モジュールの各特性定義図

(1) IGBT の各スイッチング特性の波形定義を、図 2.1 に示します。

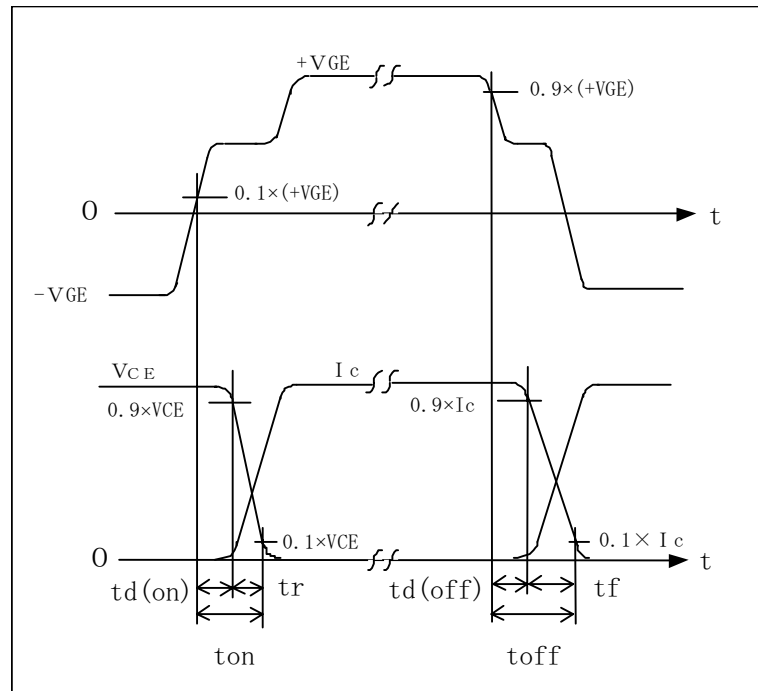
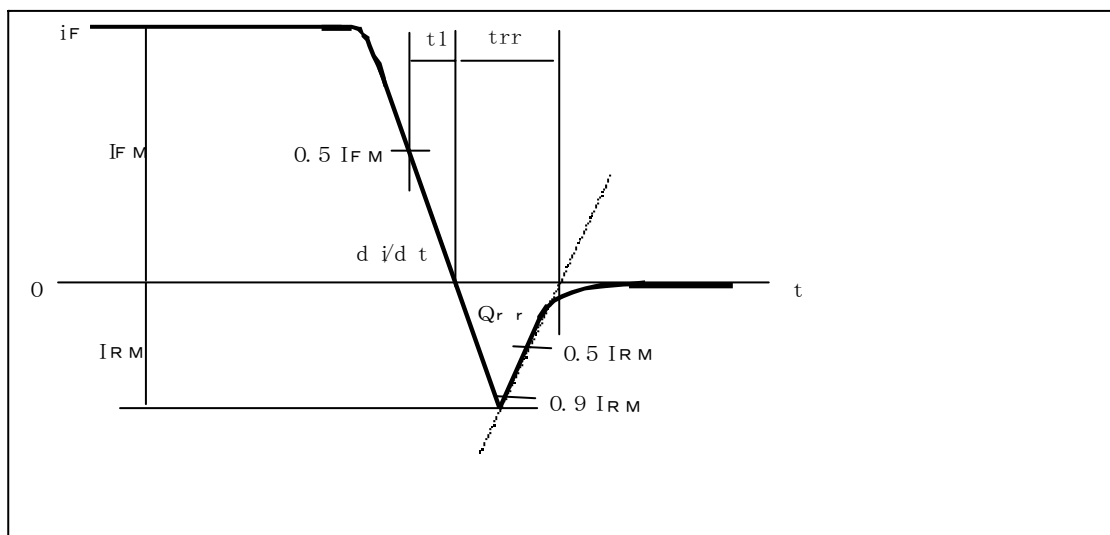


図 2.1 IGBT スwitching 特性 (ton、toff) の定義図

(2) ダイオードの逆回復特性の波形定義図を、図 2.2 に示します。



$$Q_{rr} \equiv \frac{1}{2} t_{rr} I_{RM} \quad di/dt \equiv \frac{0.5 I_{FM}}{t_1}$$

図 2.2 ダイオード逆回復特性 (trr) の定義図

3章. 使用上のご注意

3-1. ディレーティング

素子の信頼性を確保するために、以下のようにディレーティングして使用してください。

なお、ここでは三相インバータを例にして示しますが、定格値に対するディレーティングの考え方は、ほかの応用においても共通して考えることができます。

- (1) 電圧：定常時は、素子定格 VCES の 80%以下（ピーク電圧）
素子定格 VCES の 50~60%以下（直流電圧）
最大時(非定常時)で、素子定格 VCES の 90%以下（ピーク電圧）
インバータ応用における素子の電圧定格と電源電圧（入力 AC ライン電圧）の関係は、次式で考えることができます。

$$VCES = V_{in} \times \sqrt{2} + V_s + V_{reg} + \alpha \quad \text{----- (1)}$$

VCES ; 素子定格電圧
V_{in} ; 入力電圧（交流電圧）
V_s ; サージ電圧（跳ね上がり分）
V_{reg} ; 回生などに伴う直流電圧の増加分
α ; マージン、安全率

- (2) 電流：定常時は、素子定格直流電流の 50~60%以下（繰返し電流ピーク値）
最大時(非定常時)で、素子定格直流電流の 90%以下（繰返し電流ピーク値）
ただし、接合温度でディレーティングを考慮すれば、それに従って電流のディレーティングも行われることとなります。

なお、スペックにおける 1ms 定格電流(I_{cp})は、フリーホイールダイオードの逆回復時のリカバリ電流(数 μs 以下)を含むピーク電流値、および負荷短絡時の保護などの事故時を想定したものです。特に、負荷短絡時の保護などの事故時の熱履歴が残るような繰返しでのご使用はできません。

ディレーティングを考慮した素子の定格直流電流(コレクタ電流定格)の選定は、次式で考えることができます。

$$I_p = P_{inv} \times \kappa \div V_{ac} \div \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times \lambda \quad \text{----- (2)}$$

$$I_c > I_p \div \beta \quad \text{----- (3)}$$

I_p ; ピーク電流
P_{inv} ; インバータ容量
κ ; 過負荷率
V_{ac} ; 交流電圧
λ ; 電流リップル率
I_c ; 素子の定格直流電流(コレクタ電流定格)
β ; ディレーティングファクタ

- (3) 接合温度；定常時は、定格接合温度（最大値）の 80%以下
最大時(非定常時)で、定格接合温度（最大値）の 90%以下
ケース温度は 100℃以下で使用してください。

なお、接合の温度 T_j やケースの温度 T_c の温度変化の繰返しは、その回数によってモジュール内部の部材にストレスを生じさせ、素子寿命を低下させる原因となるので、注意してください。

詳細は、3-7 項「熱抵抗と放熱設計」を参照してください。

3-2. スナバ回路

スナバ回路とは、スイッチングデバイスがオフしたとき、回路の配線インダクタンスの蓄積エネルギーによる過電圧からスイッチングデバイスを保護する目的で挿入される回路で、一般にC、Rで構成される無極性形と、ダイオードを追加した有極性形があります。IGBTの場合は、サージ電圧抑制効果の高い有極性形が用いられています。なお、主回路配線インダクタンスを非常に低減できて、サージ電圧のピークを素子最大定格の80%以下程度に抑制できる場合はスナバ回路無しで使用できる場合があります。

3-2-1. スナバ回路の種類と特徴

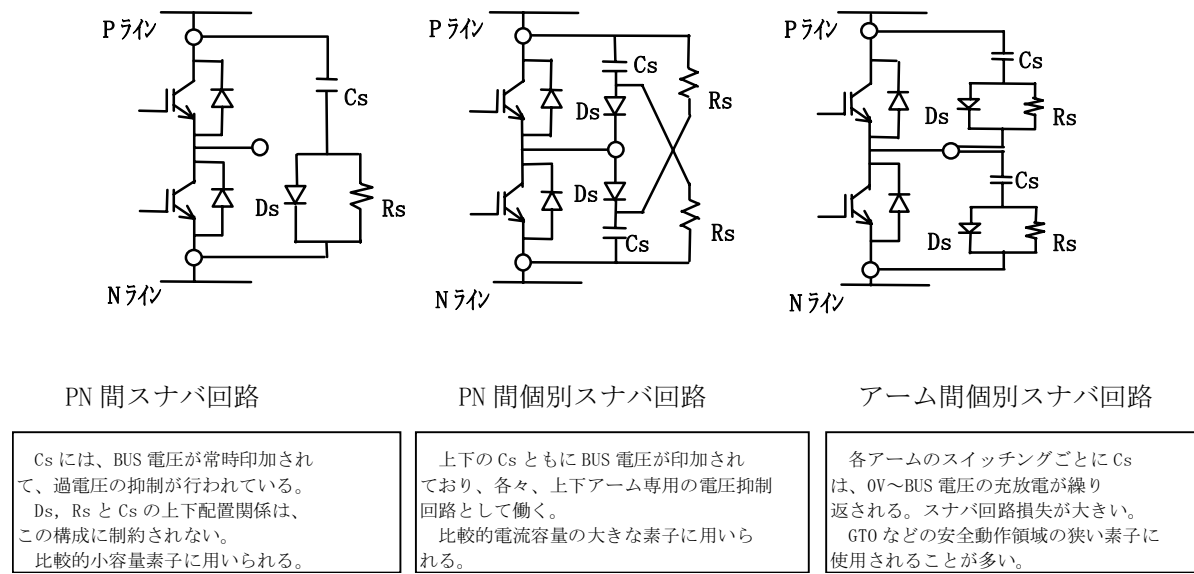


図 3.1 スナバ回路の種類と特徴

3-2-2. スナバ回路の動作

図 3.2 は、下アーム IGBT のターンオフ時の過電圧発生モードを表した回路で、図 3.3 は、その時の過渡状態の等価回路を示したものです。

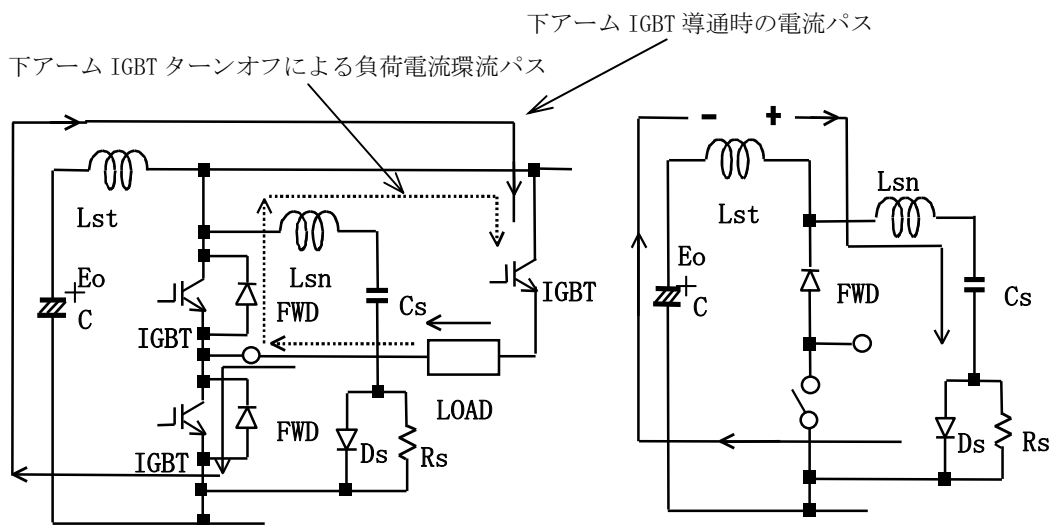


図 3.2 下アーム IGBT ターンオフモード

図 3.3 左図過渡状態の等価回路

図 3.3 は、それまでオンしていた下アーム IGBT がターンオフした場合の電流パスの変化を示します。

下アーム IGBT のターンオフに伴い、負荷電流は上アーム側の FWD を通り環流されますが、Lst に蓄積されたエネルギーの放出はスナバ回路がないと、その放出場所を失うために、過電圧として下アーム IGBT に印加されます。

スナバ回路を付加することによって、図 3.3 に示すように Lst の蓄積エネルギーは、スナバ回路のコンデンサ Cs に吸収され、電圧として現われます。

この動作によって、Lst による過大なサージ電圧が抑制されることになります。

ただし、実際には、スナバ回路にも配線インダクタンス Lsn が存在し、IGBT の下降期間において、いくらかの過電圧が発生してしまいます。

3-2-3. スナバ回路使用時の電流電圧波形について

図 3.2 に示した回路での IGBT ターンオフモードでの電流、電圧波形について考えます。

図 3.4 は、IGBT 素子のターンオフ時の IGBT の電流と電圧波形を表しています。

スナバ回路の使用によって、配線インダクタンス Lst によるサージ電圧は、 $E_o + \Delta V$ に抑えられます。

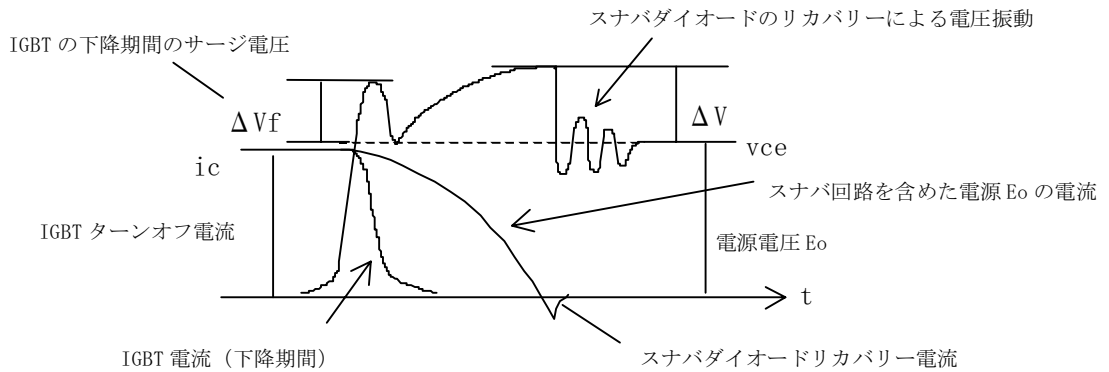


図 3.4 スナバ回路使用時の IGBT 電流 i_c 、電圧 VCE 波形

図 3.5 は、スナバ回路動作時のスナバダイオード Ds の電流 (i_{Ds})、電圧 (v_{Ds}) 波形を示したもので各項目は、概略を次式で求めることができます。

$$T_s = \frac{2\pi\sqrt{L_{st} \times C_s}}{4} \dots\dots (1)$$

$$\Delta V = I_c \times \sqrt{\frac{L_{st}}{C_s}} \dots\dots (2)$$

I_c は IGBT ターンオフ電流値

$$\Delta V_f = L_{sn} \times di_c/dt + V_{fr} \dots\dots (3)$$

ここで、 L_{sn} は、IGBT のコレクタ・エミッタ端子からのスナバ回路インダクタンス値を、 V_{fr} は、ダイオード順回復電圧 (約 50V 程度)、 di_c/dt は、下降期間の電流変化率です。

$$T_n \approx 3 \times C_s \times R_s \dots\dots (4)$$

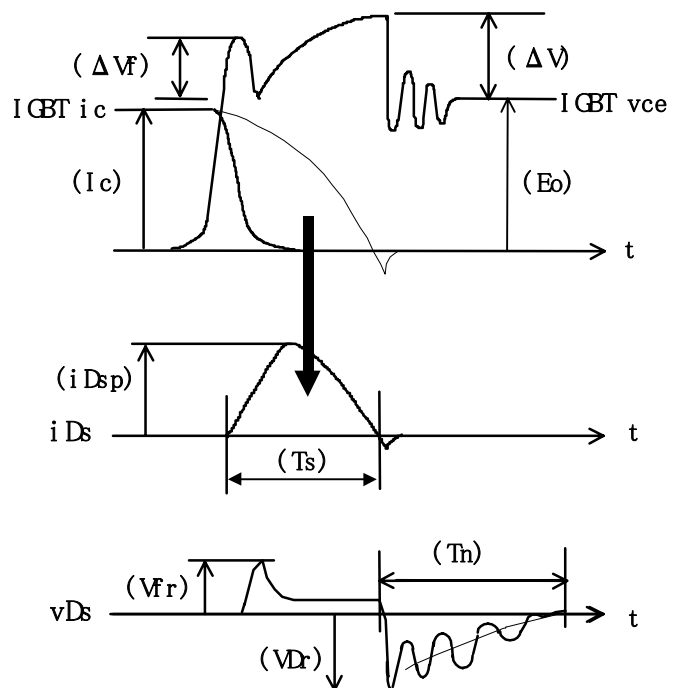


図 3.5 スナバ回路各部波形

ここで、 T_n は、 C_s の過充電電圧の 95% を放電するのに要する時間を示しています。

なお、 R_s は、 $T_s + T_n < 1/f_c$ となるように選択します。

上記式で三相回路の場合は、式 (1) での T_s が $\sqrt{3}$ 倍、式 (2) での ΔV が $1/\sqrt{3}$ となります。
(他相のスナバ回路も効きます)

3-2-4. コレクタ電流クラスとスナバコンデンサ容量

スイッチング電流最大値を I 、電圧上昇分を ΔV とした場合のスナバ回路のコンデンサ容量 C_s は、以下のように求めることができます。

$$C_s \cong L_{st} \cdot \left(\frac{I}{\Delta V} \right)^2 \dots \dots \dots (5)$$

- ・スナバコンデンサは、周波数特性の良いポリエステルフィルムコンデンサやオイルコンデンサを使用してください。
- ・コンデンサのリード線が細い場合など、充放電電流の影響でリード部が高温になる場合があるので注意してください。

3-2-5. スナバ抵抗

抵抗の容量は、コンデンサの容量、IGBT の駆動周波数によって異なります。

スナバに過充電された電圧 ΔV を用いると、電流 I をターンオフしたときに発生するエネルギー ϵ_{SN} は以下のようになり、エネルギーのほとんどがスナバ抵抗で消費されます。

$$\epsilon_{SN} = 0.5 \times C_s \times \Delta V^2 \dots \dots \dots (6)$$

なお、抵抗値は次式から求め、IGBT のターンオン時のコレクタ電流が振動しないようにします。

$$R_s \geq 2 \sqrt{\frac{L_{sn}}{C_s}} \dots \dots \dots (7)$$

L_{sn} : スナバ配線のインダクタンス

また、 R_s は C_s に過充電された ΔV を放電する抵抗となるため、上限値にも注意してください (C_s の電圧 ΔV は、キャリア周波数にもよりますが、すみやかに放電させてください)。

3-2-6. スナバダイオード

スナバダイオードは、IGBT の耐圧と同じクラスまたはそれ以上のものとし、電流容量 (または電流定格) は、IGBT の 10 分の 1~5 分の 1 以上の素子を使用してください。

ダイオードは、高速仕様のものでしてください。逆回復特性がハードリカバリー傾向のダイオードの場合、IGBT のターンオフ時のコレクタ電圧に高周波振動を伴う場合があるので注意してください。

3-3 ゲートドライブ

3-3-1. IGBT のゲート電流とゲート電荷量

図 3.6 に IGBT 素子を駆動した際の各電流、電圧波形の例を示します。

ここで、ターンオン時、ターンオフ時ともに、制御端子であるゲート、エミッタ間には、IGBT の入力容量 (Cies) と帰還容量 (Cres) の充電、および放電のための電流が流れます。

これらのゲート電流の時間積、すなわちゲート電荷量の移動によって、ゲート、エミッタ間電圧が所定の正バイアスおよび負バイアス電圧になります。

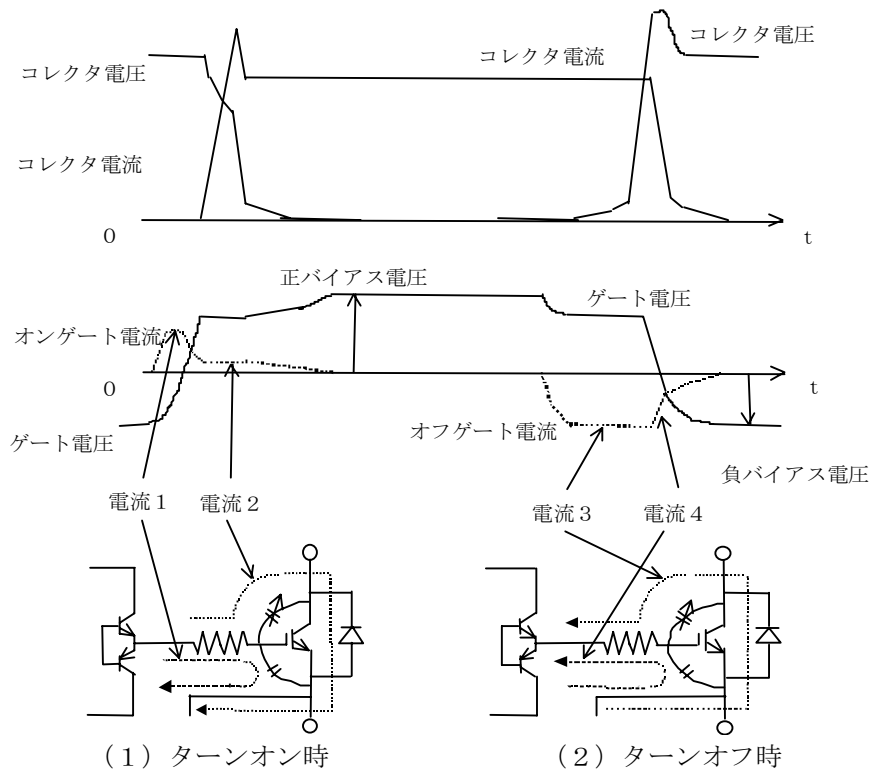


図 3.6 IGBT スイッチング時の各電流、電圧波形例

3-3-2. IGBT のゲート電荷特性 (QG 特性)

ゲート電荷 (QG) とゲート電圧との関係を図 3.7 に示します。

ゲート電荷特性は図 3.7 のように、大きく分けて以下の A~C の 3つの領域に区分されます。

A; この部分は、ゲート電圧と素子の入力容量 (Cies) で電荷量が決定されます。

コレクタ電流がまだ流れていない期間です。

B; この部分は、素子の帰還容量 (Cres) によるミラー効果によって現われます。

ゲート、エミッタ間電圧は、変化することができずに、コレクタ、エミッタ間電圧のみが変化します。ゲート電流値は、一定となり、その値は、ドライバの出力電圧とゲート抵抗によって決定されます。

C; コレクタ、エミッタ間電圧がほぼ飽和電圧近くになり、帰還容量 (Cres) がほぼ最大値となる領域です。 帰還容量と入力容量は並列になり、ゲート・エミッタ間静電容量が最大値 (おおよそ入力容量 Cies 値の 2 倍) となります。

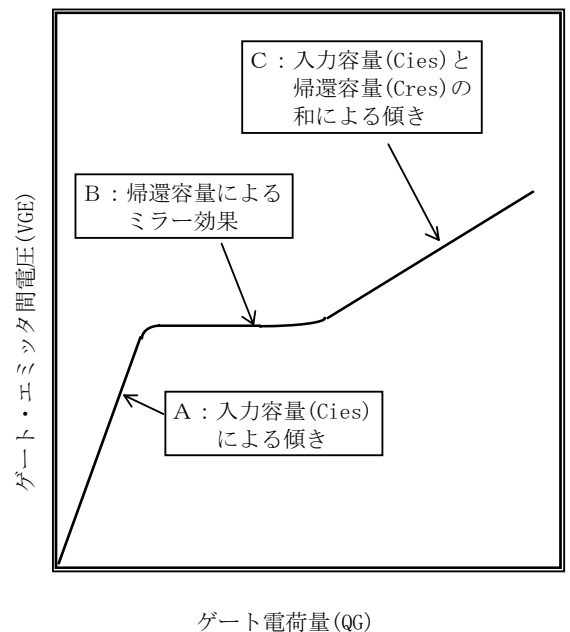


図 3.7 ゲート電荷 (QG) 特性

3-3-3. ゲートドライブ損失

IGBT 素子のスイッチングに伴うドライブ回路の消費電力を、ゲート電荷特性から求めることができます。

図 3.8 は、図 3.7 のゲート電荷特性をゲート・エミッタ間電圧の負バイアス電圧領域について示したもので、VGP は正バイアス電圧値、VGN は負バイアス電圧値を示しています。

VGN から VGP への移行 (=ターンオン)、および VGP から VGN への移行 (=ターンオフ) に伴いゲート電荷量は、図 3.8 に示すように、QG0 の値で変化します。この場合のドライブ回路電力 PG は、スイッチング周波数を f_c とすると、次式で求められます。

$$PG = (VGP + |VGN|) \times QG0 \times f_c \quad \text{----- (1)}$$

このスイッチングするための電力は、ドライブ回路電源から供給されるものであり、電源回路設計において十分に配慮してください。

特に安定化されず、レギュレーションによって電圧が低下するような場合は、IGBT 素子の破壊に至ることがあるので注意してください。

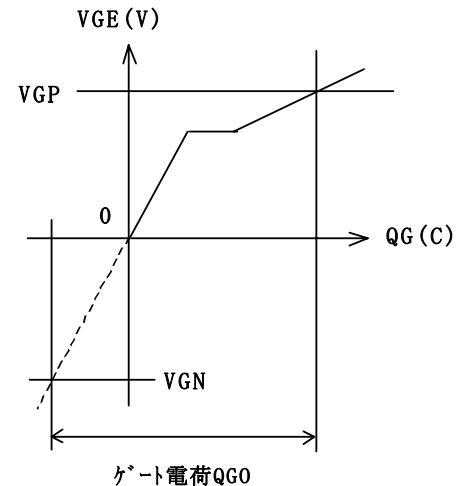


図 3.8 ドライブ電圧とゲート電荷特性

3-3-4. ドライブ電圧

IGBT のドライブ電圧は、正バイアス電圧と負バイアス電圧の各々について設定します。

正バイアスは、電圧が低すぎると導通損失の増加を招き、高すぎると事故時の短絡電流の増加などの悪影響が発生するので、その範囲を適切に選択してください。

正バイアス電圧は、IGBT の動作期間において $15V \pm 10\%$ としてください。

また、負バイアス電圧は、他アームでのスイッチングなどによって誤動作 (誤オン) を防止する必要があるため、 $-5V \sim -15V$ の範囲内として設定してください。

3-3-5. 下アーム側のドライブ回路電源での注意

単相、または三相回路のように複数の相を持つ応用では、下アーム側のドライブ回路電源を独立させてください。

これは、下アーム側のエミッタは定常では電氣的に同電位となりますが、IGBT のスイッチング時においては、下アーム側の主回路配線部分に高い誘起電圧が生じ、この電圧が他相 IGBT のスイッチングに遅延時間の増加などの悪影響を及ぼすためです。

IGBT のコレクタ電流の時間変化率 (di/dt) は、数千 $A/\mu s$ になることがあり、下アーム側主回路を構成する配線の数十 nH 程度のインダクタンスには、数十 V ほどの電圧が誘起されます。

下アーム側のドライブ回路電源を共通とした場合、主配線に誘起した電圧が共通のドライブ回路電源や共通配線を介し、他相 IGBT の下アーム側ゲート・エミッタ間にノイズとして現われ、誤動作やスイッチングの不安定な状態が発生することがあります。

3-3-6. ゲート・エミッタ間抵抗 (RGE)

IGBT は、MOSFET と同様に電圧駆動形素子であり、ゲート・エミッタ間のインピーダンスは非常に高くなっています。

このような素子において、ドライバが未接続であったり、ゲート電圧のバイアス状態がドライバ側出力インピーダンスの影響などで不安定な場合は、コレクタ電圧の印加によって「オン」状態になってしまいます。

特に、主回路の電源投断時において制御回路電源が確定していない状態で問題になるので、注意してください。

このような場合、IGBT モジュールの制御端子 (ゲート・エミッタ) 間に、数 $k\Omega \sim$ 数十 $k\Omega$ の抵抗 RGE を接続して IGBT の「オフ」を確定させる方法がとられます (実機での確認をしてください)。

なお、RGE を接続される場合は、電流の常時通流によるドライバ回路の電源電圧の低下や、ゲート抵抗 R_G との分圧によるゲート・エミッタ間電圧の低下に注意してください。

3-4. ダイナミックアバランシェ

IGBT をターンオフすると、 V_{CE} が上昇しますが、ある電圧以上は、電圧が上昇せず抑え込まれます。(図 3.9 参照)

この現象をダイナミックアバランシェと言います。これを簡単に説明すると、ターンオフ時 MOSFET 部のチャンネルが閉じ、電流が減少し始めますが、素子内に残っているキャリアが消滅する際に素子内部の高電界をキャリアが通るためシリコン原子と衝突電離し、電子とホールを発生させます。

この発生した電子、ホールは、さらに別のシリコン原子と衝突し次々と電子、ホールが発生します。これがダイナミックアバランシェです。

ダイナミックアバランシェが発生すると、電流の減衰は緩やかになり、 V_{CE} 跳ね上がり電圧は抑えられます。ダイナミックアバランシェする際の電圧は、電流によって異なります。その一例を図 3.10 に示します。

ダイナミックアバランシェが発生したら、直ちに IGBT が破壊するとは限りませんが、ターンオフ損失が増大し、最後はラッチアップによって IGBT は破壊します。

したがって、ターンオフ時は、図 3.10 の範囲内で使用してください。

また、この範囲は温度によって変わり、特に低温では領域が狭くなるので注意してください。

なお、ダイナミックアバランシェに関して個別に条件がある場合は、それに従ってください。

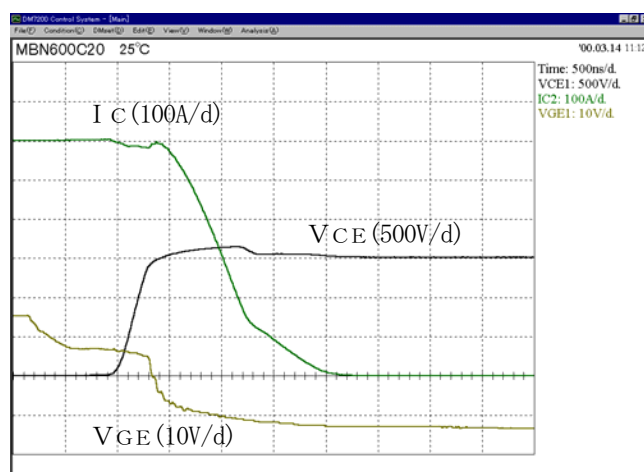


図 3.9 ターンオフ時波形例

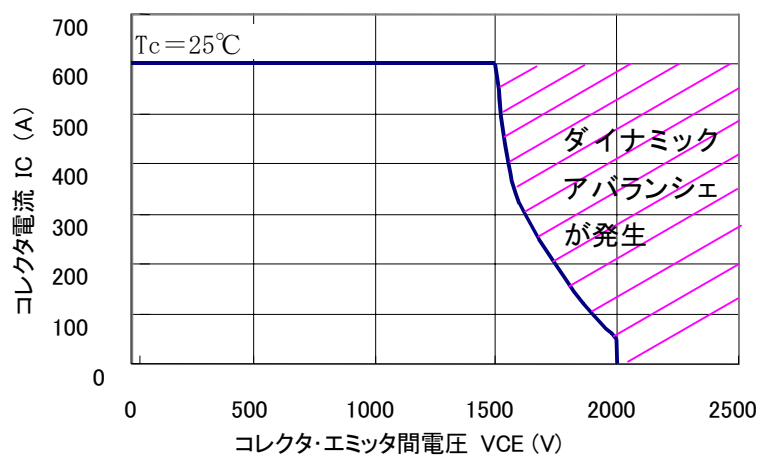


図 3.10 ダイナミックアバランシェが発生する領域例

3-5. 並列接続

3-5-1. 飽和電圧範囲 ($\Delta V_{CE(sat)}$) と電流アンバランス率の関係

高耐圧 IGBT を並列接続してご使用の際は、当社で $V_{CE(sat)}$ の近いものをペアにして納品することを原則としていますが、このペアの条件が並列接続を保証するものではありません。装置の物理的構造による配線インダクタンスのアンバランス、ゲート駆動回路および駆動条件によってアンバランスが生じるので、事前に評価を実施のうえご使用ください。詳しいことにつきましては、お打合せのうえ決めさせていただきます。

並列接続時の電流アンバランス率 α の定義は、以下のようになります。

$$\alpha = \left(\frac{I_{c'}}{(I_{total} \div 2)} - 1 \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $I_{c'}$: 1 素子の電流値

I_{total} : 2 並列接続による総電流

本定義は、定格電流値のところで一般的に行われますが、同一素子の場合において、アンバランス率 α は、総電流値によって大きく異なるので、注意してください（小電流で α は大きくなります）。

また、直列接続は電圧分担が均等になりやすく、素子の耐圧を超えた過電圧がかかる可能性があるため $V_{CE(sat)}$ 等の静特性の他、 $t_d(on)$ 、 $t_d(off)$ 等の動特性を合わせるとともに、直列接続された素子間の電圧バランスを整える回路、分圧抵抗やスナバ回路等が必要になります。

3-5-2. 並列数と電流低減率について

並列数に制限はありませんが、ハードの大きさとそれに伴うインダクタンス分の上昇の悪影響（サージ電圧等）を考慮してください。高耐圧 IGBT では、～4 並列までが現実的です。

並列数を n とし、最悪条件（その内の 1 素子に電流が集中する）と考えた場合の電流低減率 R は、次式で求められます。ここで、 α は先に述べた電流アンバランス率を示します。

$$R = \frac{1 + (n - 1) \times \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)}{n} \div \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots (2)$$

計算例：定格 600A 素子を 4 並列で使用する場合、 α を 15% とすると $R=80.4\%$ となります。

したがって、この場合の総電流は、

$600A \times 4 \text{ 並列} \times 0.804 = 1,929 (A)$ となります。

3-5-3. 並列接続における注意事項

(1) 並列接続時に注意すべき基本的な事項

一般的に、並列接続時に注意すべき基本的な事項としては、以下の2点があります。

- (a) 定常時の電流不平衡率を抑えるため、VCE(sat) 差の小さい素子を組み合わせる。
- (b) ターンオン、ターンオフなどの過渡時の電流不平衡率を抑えるために、素子並列レイアウト上の配線アンバランスを小さくする。

(2) 1アームのドライバ数

並列接続された素子をドライブする際、一部の信号処理回路（ホトカプラ、アンプや過電流保護回路等）を含んだドライバは、IGBT の並列数に関係なく、1 個のドライバで構成してください。

これは、ドライバごとの出力遅延時間などのバラツキによる並列動作への悪影響を回避するためです。

(3) 並列接続でのゲート抵抗接続法

ドライブと、並列接続された素子との接続は、スイッチング時に発生しやすいゲート電圧振動を抑制するために、各モジュールにゲート抵抗が接続されるよう、図 3.11 のような接続としてください。また、図 3.11 においては、以下の点に注意してください。

- (a) ドライバ出力配線はツイストペアとし、低インピーダンス化を図る。
- (b) 下図の配線ループ A、B に各々存在するインダクタンス (Lgst) が同一となるようにし、その値は極力小さくする。

(上記(a)と(b)は、主回路スイッチング時の誘導による悪影響を防止するために行います。)

- (c) 前述したゲート電圧振動は、ターンオン、ターンオフの各スイッチング時に現れます。

特に、ターンオフ後のゲート電圧振動は誤オンを招き、アーム短絡などの不具合を生じます。

振動を防止するためには、ゲート抵抗 R_G とループインダクタンス L_{gst} との間には式 (1) の関係を保つように注意してください。ここで C_{ies} は、IGBT のゲート入力容量です。

$$2 \times R_G > 2 \sqrt{\frac{L_{gst} \times 2}{C_{ies}/2}} \quad (1)$$

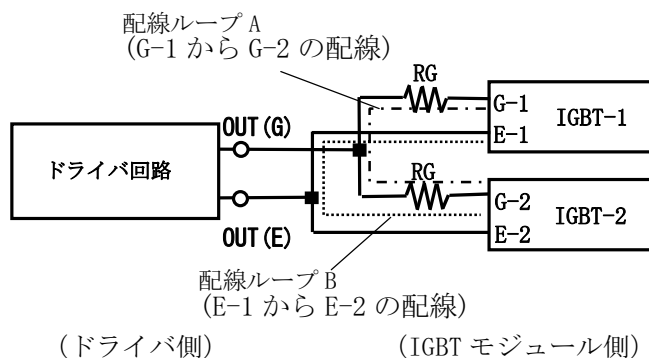


図 3.11 並列接続されたモジュールとドライバ回路の接続例

3-5-4. 主回路配線の対称性とその必要性

(1) 主配線の均等化

並列接続する IGBT のコレクタ側配線、エミッタ側配線を各々均等にし、各インダクタンスのバランスを保ってください。

図 3.12 は、2 個並列を例にし、主回路配線インダクタンスも含めて表した並列回路の構成図です。ここで、
 LCA ; IGBT (A) のコレクタ側配線インダクタンス
 LCB ; IGBT (B) のコレクタ側配線インダクタンス
 LEA ; IGBT (A) のエミッタ側配線インダクタンス
 LEB ; IGBT (B) のエミッタ側配線インダクタンス
 を表します。

IGBT (A) 、および (B) がオンすると、各コレクタ電流のターンオン時の電流は、これら配線インダクタンスのバズラツキに左右されて発生します。

この電流バランスは、ほぼインダクタンス比によって決定されるので、配線の対称性を確保する(=配線インダクタンスの値を一致させる)ことが必要となります。

例えば図 3.12 において、(A) 側、(B) 側の配線のバランスが、
 $(LCA+LEA) < (LCB+LEB)$

となり、かつ (A) 側の IGBT の $V_{CE(sat)}$ が、(B) 側 IGBT に比べ、 $V_{CE(sat)}$ の値が小さい場合を想定したときの電流分担は、図 3.13 のようになります。

特に、エミッタ側配線 LEA、LEB のアンバランスは、IGBT のゲート電圧に影響し電流アンバランスを増加させるので注意してください。

これは、スイッチング時に、LEA、LEB に誘起電圧が発生し、アンバランスによって生じる誘起電圧の差が並列した IGBT のゲート・エミッタ間を、各々異なる方向へバイアスされるために起こります。

(2) 主配線による電流アンバランスの発生期間

図 3.13 に示すように、ターンオン時にいったん発生した電流アンバランスは、IGBT オン定常時に均等化されて、 $V_{CE(sat)}$ で決まる値 I_{cA} 、 I_{cB} にバランスしていきます。

アンバランス電流の均等化に要する時間は、並列回路を構成する閉ループ内のインダクタンスと、IGBT 素子の動作抵抗による L-R 回路での減衰として求められます。

素子の動作抵抗値 r_{on} は、出力特性カーブから求めることができます。

例えば、当社 MBN1200E33E の場合、 $r_{on} \approx 3.4m\Omega$ (@ $T_j = 25^\circ C$ 、 $1/2$ 定格電流時)となります。

また、並列構成時のループインダクタンス ($LCA+LCB+LEA+LEB$) を $100nH$ と仮定すれば、電流の均等化は、以下の (1) 式で求まる時定数 τ で進むことになります。

$$\tau = \frac{100nH}{3.4m\Omega \times 2} = 15 \mu s \quad (1)$$

電流変化の安定度を τ の 3 倍 (約 95% まで変化) と考えると、ターンオン後の $45 \mu s$ の期間において電流バランスは、 $V_{CE(sat)}$ では決定されないことになります。

したがって、キャリア周波数が高い場合やオン期間が短い場合は、そのほとんどの期間においての電流バランスは配線(形状も含む)によって決定されてしまいます。

(3) ゲート配線についての注意事項

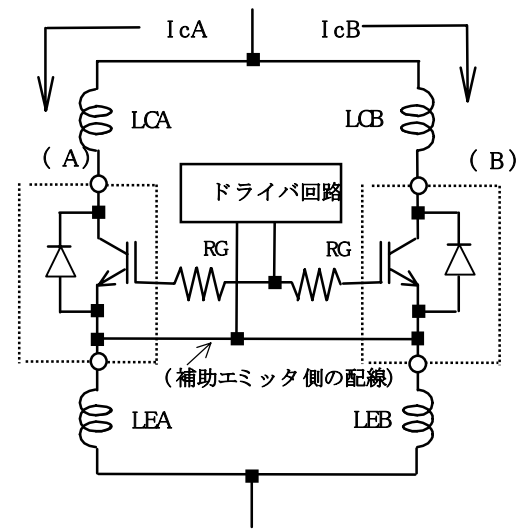


図 3.12 並列接続時の主配線インダクタンス LCA と LCB、LEA と LEB を各々均等にするための配線方法が必要。

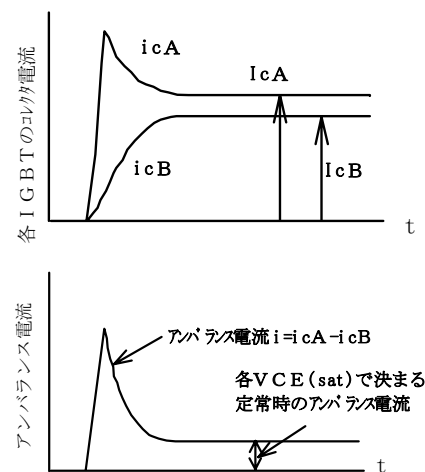


図 3.13 アンバランス電流の均等化

並列接続でのゲート配線については、以下の点に注意してください。

- (a) 各ゲート配線と主回路配線においては、その相互誘導や高電位差によるノイズの発生を防止するため、直交配線とすること、また、ゲート配線と主回路配線間の距離を確保してください。
- (b) 上下アームのゲート線には高電位差があります。配線間距離は十分確保してください。
- (c) 並列素子のゲート配線はなるべく短くしたうえで配線長さを揃え、各々のインダクタンス値を一致させてください（インダクタンス差によるスイッチング動作ばらつきを抑える）。

3-5-5. ダイナミックアバランシェと並列接続

ダイナミックアバランシェ電圧は、図 3.10 に示したように定格電圧より低いため、並列接続で使用し、図 3.10 の範囲を超えて使用する場合、ダイナミックアバランシェ電圧の低い方に電流が多く流れます。その一例を図 3.14 に示します。

図 3.14 は、スナバレスの波形ですが、スナバ回路がある場合は、ターンオフ電流がスナバ回路に移るため、コレクタ電流の減少がスナバレスに比べて早く、そのため電流の不均衡は、コレクタ電圧が高めの所で発生するという特徴があります。（図 3.15 参照）

いずれにしても、並列接続する場合は、特に電流の不均衡に注意し、図 3.10 を超えないように注意してください。

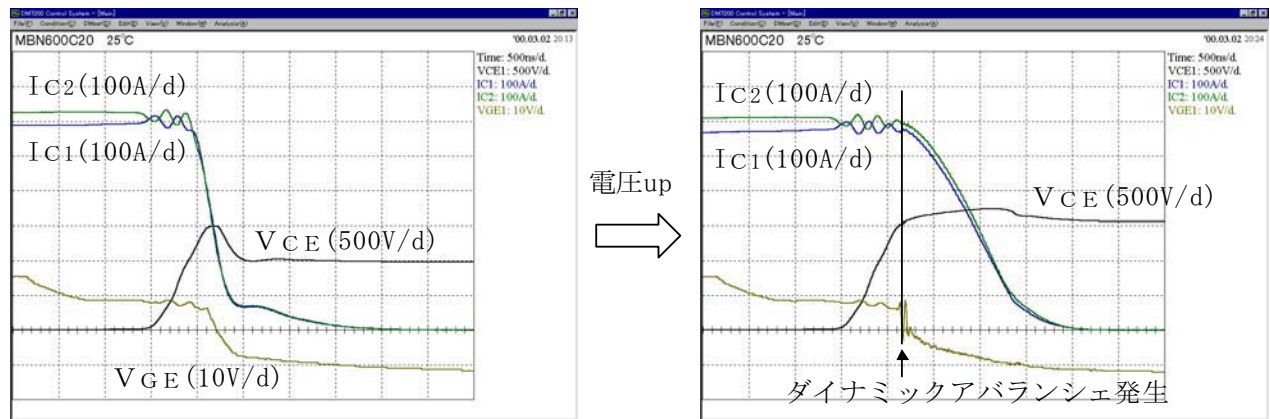


図 3.14 並列接続時の動作(スナバレス)

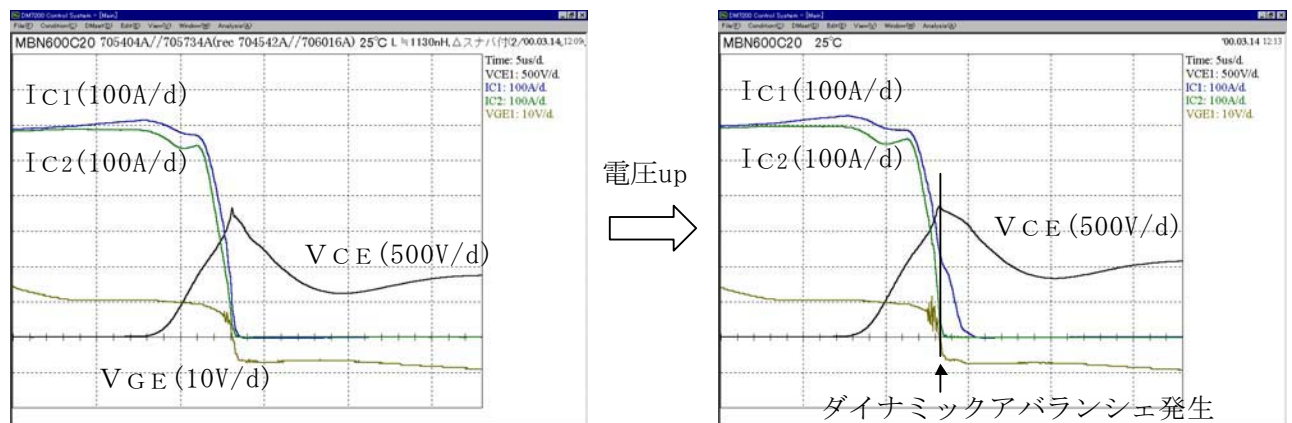


図 3.15 並列接続時の動作(スナバ付)

3-6. 損失計算

IGBT を PWM 制御のインバータ回路に使用した場合の、一般的な損失計算の方法について紹介します。
 なお、インバータの相出力電流波形は、正弦波とします。

また、IGBT モジュールでの内部発生損失は、1in1 構成の場合、以下となります。

モジュール全損失	= IGBT での損失 + FWD での損失
IGBT 損失	= オン定常損失 (Pon) + ターンオン損失 (Pton) + ターンオフ損失 (Ptoff)
FWD 損失	= 順損失 (Pf) + リカバリ損失 (Prr)

3-6-1. IGBT での損失

(1) オン定常損失 (Pon)

$$P_{on} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i \times v \times D \times d\theta \quad \text{----- (1)}$$

ここで D は正弦波出力時のオンデューティを表し、

$$D = \frac{1 + \sin \theta}{2} \quad \text{----- (2)}$$

さらに PWM 制御等での制御率 K を考慮すると

$$D = \frac{1 + K \cdot \sin \theta}{2}$$

が実際に制御するものとなりますが、
 今回は、K = 1 として考えます。

したがって、オン定常損失 Pon は、次式で求められます。

$$P_{on} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_o}{2\pi} \cdot a + \frac{\pi}{4} b \cdot \sqrt{2} I_o + \frac{\pi}{4} \cos \phi \cdot \left(a + \frac{8}{3\pi} b \cdot \sqrt{2} I_o \right) \quad \text{----- (3)}$$

ここで、i : IGBT に流れるコレクタ電流 (瞬時値)
 v : IGBT の飽和電圧 (瞬時値)
 Io : インバータの相出力電流 (実効値)
 A, b : VCE(sat) = a + b · I として近似した場合の a と b
 の値は、図 3.16 の Ic-VCE 特性から求めます。
 cos φ : 負荷力率

(2) ターンオン損失 (Pton) 、ターンオフ損失 (Ptoff)

インバータ相出力電流実効値を Io とすると、出力電流ピーク値は、 $\sqrt{2} \cdot I_o$ となります。

一方、素子のターンオン電流、ターンオフ電流の平均値は、

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot I_o \quad \text{----- (4)}$$

この Iave に対する 1 パルスあたりのターンオン、およびターンオフ時の発生エネルギー (Eton, Etoff) を図 3.17 から求めると、ターンオン損失 Pton、およびターンオフ損失 Ptoff は、以下のようになります。

$$P_{ton} = E_{ton} \cdot \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (5)}$$

$$P_{toff} = E_{toff} \cdot \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (6)}$$

ここで、fc : キャリア周波数

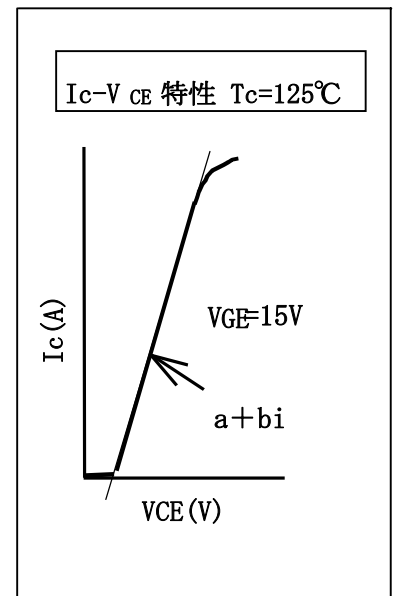


図 3.16 Ic-VCE 特性図

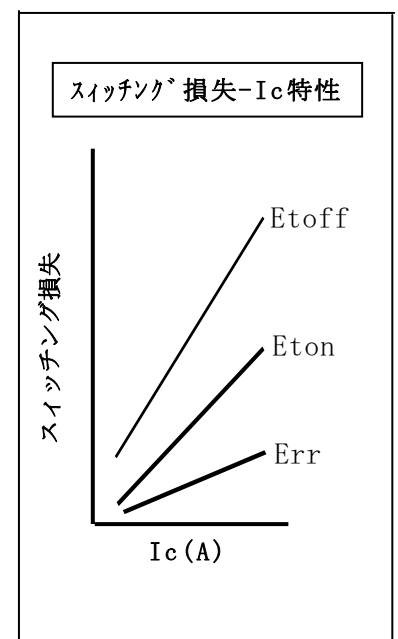


図 3.17 SW. Loss-Ic 特性図

3-6-2. FWD での損失

(1) 順損失 (Pf)

$$\begin{aligned}
 Pf &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} I_o \cdot \sin\theta (a + b \sqrt{2} I_o \cdot \sin\theta) \cdot \frac{1 - \sin(\theta + \phi)}{2} d\theta \\
 &= \frac{\sqrt{2} \cdot I_o}{2\pi} \cdot a + \frac{\pi}{4} b \cdot \sqrt{2} I_o - \frac{\pi}{4} \cos\phi \cdot \left(a + \frac{8}{3\pi} b \cdot \sqrt{2} I_o \right) \quad \text{----- (7)}
 \end{aligned}$$

と、求められます。

ここで、 I_o : インバータ相出力電流 (実効値)

a, b : $V_f = a + bi$ として近似した場合の各係数 (図 3.18)

$\cos\phi$: 負荷力率

(2) リカバリ損失 (Prr)

平均電流は出力電流ピーク値を $\sqrt{2} \cdot I_o$ とすると、次式となります。

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times \sqrt{2} \times I_o \quad \text{----- (8)}$$

上記 I_{ave} に対する 1 パルスあたりのリカバリ時のエネルギーは、図 3.17 に示す Err 特性から求められ、 Prr は、次式となります。

$$Prr = Err \times \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (9)}$$

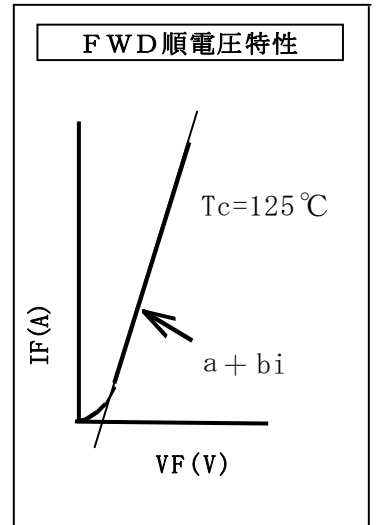


図 3.18 IF-VF 特性図

3-7. 熱抵抗と放熱設計

3-7-1. 熱抵抗について

モジュールの熱抵抗については、IGBT 素子およびダイオード素子について、接合・ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ をスペックで規定しています。

3-7-2. 温度測定位置の定義について

ケース温度、および放熱フィン温度測定位置の定義は、図 3.19 によります。

接合・ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ およびケース・放熱フィン間接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ は、本定義によって規定されたものです。

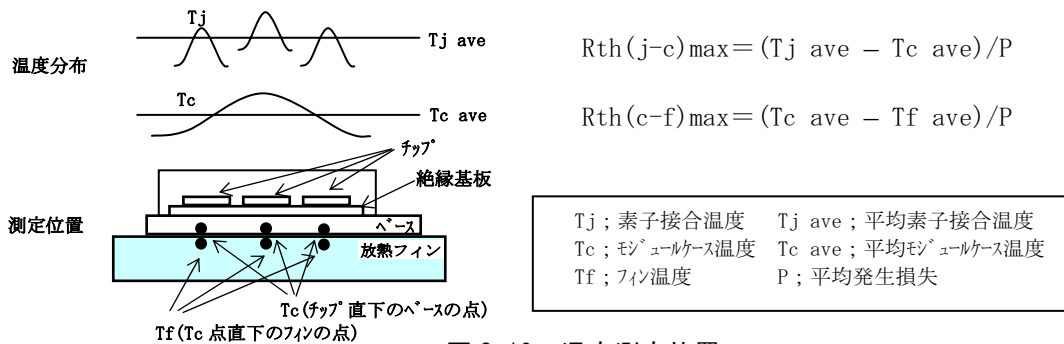


図 3.19 温度測定位置

3-7-3. 放熱設計について

放熱フィンを選定するための、定常状態と過渡状態について基本的な考え方を以下に示します。

(1) 定常状態

定常状態での熱等価回路を図 3.20 に示します。

図 3.20 の熱等価回路によって、IGBT の接合温度 T_j (IGBT) は、以下の式で求められます。

$$T_j(\text{IGBT}) = P(\text{IGBT}) \times R_{th(j-c)}(\text{IGBT}) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{ダイオード})\} \times R_{th(c-f)} + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{ダイオード})\} \times R_{th(f-a)} + T_a \quad (1)$$

なお、接合温度と周囲温度の差 $\Delta T_j(\text{IGBT})$ は、次式となります。

$$\Delta T_j = P(\text{IGBT}) \times R_{th(j-c)}(\text{IGBT}) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{ダイオード})\} \times R_{th(c-f)} + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{ダイオード})\} \times R_{th(f-a)} \quad (2)$$

ここで、ケース温度 T_c および放熱フィン温度 T_f の測定点は、図 3.19 の温度測定位置の定義点としています。

また、ダイオードの接合温度を求める場合は、接合・ケース間温度上昇を $P(\text{ダイオード}) \times R_{th(j-c)}(\text{ダイオード})$ として、同様の考えで求めることができます。

ケース温度測定位置が異なる場合は、熱抵抗がカタログ値と異なるので注意してください。

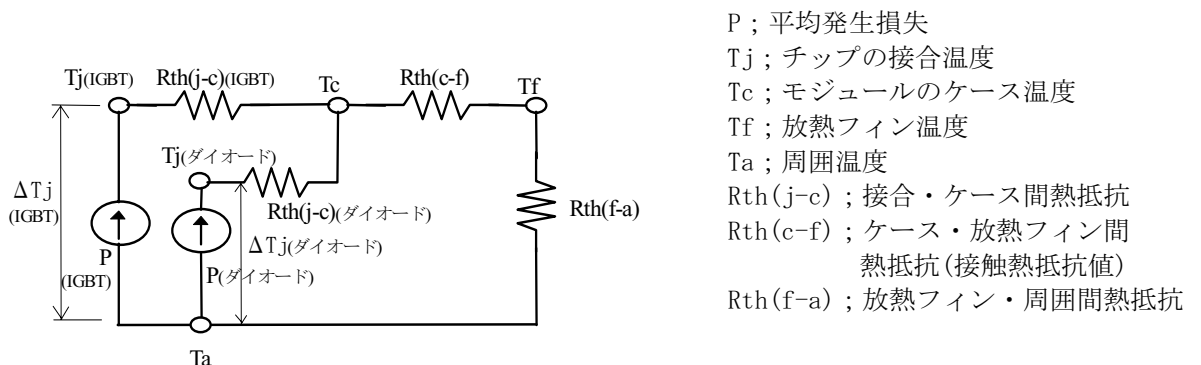


図 3.20 熱等価回路

(2) 過渡状態

一般的には、前述のように、平均発生損失を用いた定常状態での接合温度 T_j を考えれば十分ですが、実際にはスイッチングを繰り返しており、発生損失はパルス状となります。接合温度 T_j は、ケース温度 T_c を基準とした場合、図 3.21 に示すように温度リップルを生じます。

ここで、発生損失を一定の周期で、かつ一定のピーク値の連続矩形波パルスと考えれば、図 3.22 に示す過渡熱抵抗特性カーブを用い、接合温度のピーク値 T_{jp} は、次式で求められます。

$$T_{jp} = P_1 \times \{ R_{th}(\text{定常}) \times t_1/t_2 + (1 - t_1/t_2) \times R_{th}(t_1+t_2) - R_{th}(t_2) + R_{th}(t_1) \} + T_c \quad \text{---- (3)}$$

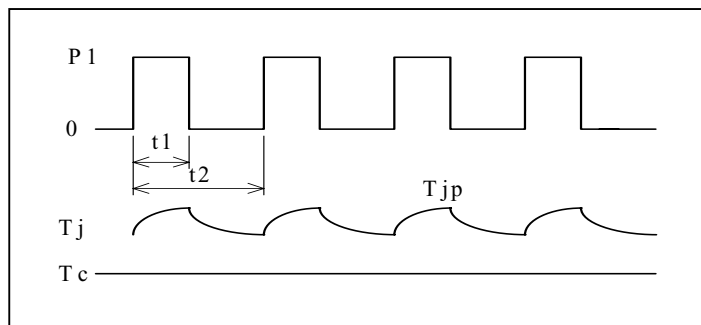


図 3.21 温度リップル

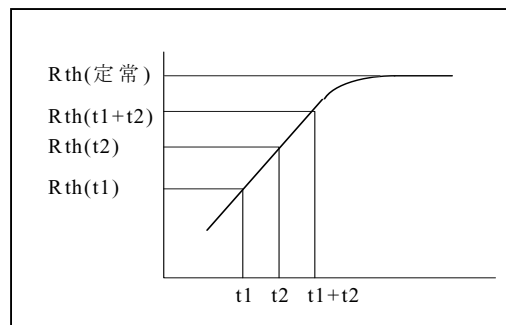


図 3.22 過渡熱抵抗

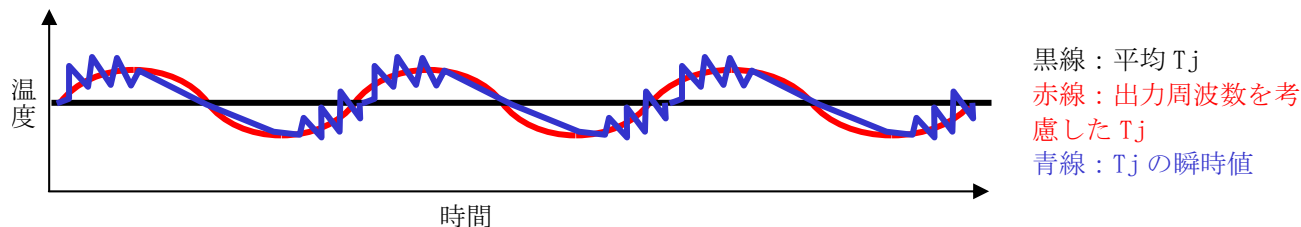


図 3.23 インバータ動作の温度リップル

図 3.23 に、インバータ動作の温度リップルを示します。接合温度は、出力周波数と同じサイクルで振動しています。また、キャリア周波数と同じサイクルでも振動しています。このことを考慮したうえで、一瞬たりとも超えてはいけないのが T_{jmax} です。

3-7-4. 温度リップル・温度変化についての注意事項

(1) 温度リップルがある場合の注意点

- (a) 前項のような検討を行い、接合温度の温度リップルピーク値が定格値 (T_{jmax}) を超えないことを確認して、放熱フィンを選定してください。
- (b) 温度リップルが大きいくほど、モジュール内部の構造部材のストレスが大きくなり、そのサイクル数が大きくなると、モジュールの寿命を低下させる危険があります。
特に、高い温度リップルが生じ、かつサイクル数が多い用途では、十分に検討してください。
- (c) なお、発生損失が時間に対し変化して発生する場合は、ケース・フィン間の接触熱抵抗の存在のために、ケース温度 T_c も発生損失に応じて変化する場合があるので注意してください。

(2) パワーサイクルモードでの素子寿命カーブ

冷却系、およびモジュールのケース温度 (T_c) の変化があまり発生せず、素子の接合温度 (T_j) が変化するモードでの寿命項目に、パワーサイクル耐量があります。

これは、素子温度変化の変化値 (ΔT_j) とその繰り返しサイクル数 (N) との関係を示したもので、主にワイヤのボンディング部がストレスを受けて、VCE(sat) が変化してしまう劣化モードを表します。

当社の試験方法は、素子定格電流を数秒間通流し、そのあと、数秒間オフとして接合温度に変化を生じさせており、これを 1 サイクルと定義しています。

なお、実使用ではモジュールのケースと冷却フィン間の接触熱抵抗の存在を無視できず、ケース温度も変化する場合があるので、 ΔT_j は、接合-フィン間で評価してください。

3-8. デッドタイム

本項では、IGBT 素子動作の基本的な考え方を含めて説明します。
 上下アーム同時オンとなると、アーム短絡となり素子に過電流が流れます。
 デッドタイムの設定、および過電流の保護を設定してください。

3-8-1. ロジック上でのデッドタイムと IGBT 素子でのデッドタイムの関係

(1) 主回路構成例

電圧形インバータの回路構成例（1相分）を図 3.24 に示します。直流電圧 E_o の PN 間に上下アームを備えた例です。上下アームの IGBT が交互にオン、オフを繰り返すモードを想定しています。同時点弧（通流）による短絡を防止するため、制御信号上に上下 IGBT オフ期間（デッドタイム）を設定します。非ラップ期間という場合もあります。

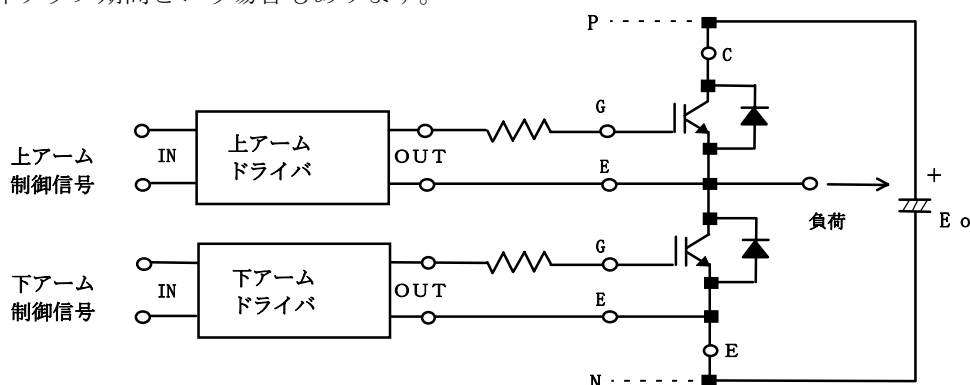


図 3.24 主回路構成例（上下アーム 1 相構成）

(2) ロジック（論理回路）上のデッドタイムと IGBT 出力端子 (C、E) でのデッドタイム

図 3.25 に制御信号、ドライブ出力電圧、IGBT コレクタ・エミッタ間電圧の位相関係を示します。論理回路上のデッドタイム (TD とします) は、ドライブ出力電圧での遅延 (図 3.25 での t_1 、 t_3) と、IGBT 素子のスイッチング遅延 (図 3.25 での t_2 、 t_4) によって、時間差が生じ TD' へと変化します。

各遅延時間 $t_1 \sim t_4$ は、以下となります。

t_1 : オン信号—オンドライブ電圧出力遅延時間

t_2 : オンドライブ電圧—IGBT ターンオン
出力遅延時間

t_3 : オフ制御信号—オフドライブ電圧出力遅延時間

t_4 : オフドライブ電圧—IGBT ターンオフ
出力遅延時間

(ただし、各々についてアーム上下での差異はないものとして考えます。)

論理上で設定されたデッドタイム (TD) と IGBT の CE 間でのデッドタイム (TD') の関係は、次式ようになります。

$$TD' = TD - (t_3 + t_4) + (t_1 + t_2) \quad \text{--- (1)}$$

このように、論理回路上で設定されたデッドタイム (TD) は、遅延時間 $t_1 \sim t_4$ の大小で変化し、実際のデッドタイム (TD') となります。したがって、ドライブ系での遅延 (t_1 、 t_3) と IGBT 素子の遅延 (t_2 、 t_4) を検討、および検証してください。

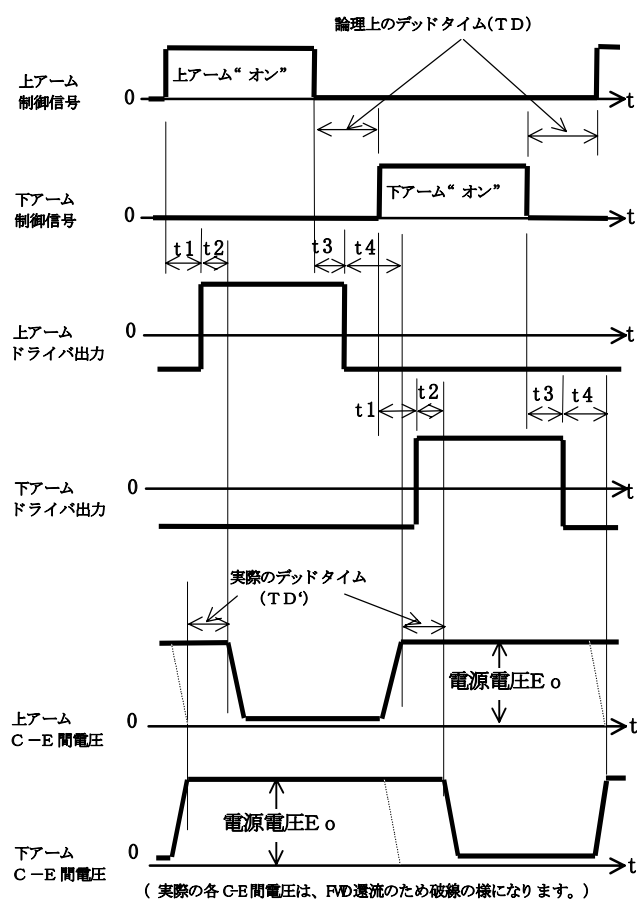


図 3.25 制御信号、ドライブ電圧および IGBT コレクタ電圧の関係

(3) デッドタイムの検証例

(a) 検証回路構成

図 3.26 のハーフブリッジ回路で検証します。

回路動作は、下アーム側のコレクタ電流遮断時の上アームターンオンを想定し、上下ドライブ回路に信号を与えます。

(b) スwitching 波形の観測方法

上下アームの非ラップ確認方法として、幾つかの方法がありますが、特に電位の異なる電圧波形の観測には注意してください。

フローティング状態で電圧を観測する方法として、光絶縁ケーブルや差動プローブがありますが、遅延に注意してください。

(c) 上下動作の確認

図 3.27 は、検証時の波形を示したもので、下アームのオフをゲート電圧が逆バイアスに移行し始まる点 (=ポイント B) とし、上アームのゲート電流のピーク点 (=ポイント A) との位相関係で、ラップか非ラップかを判断します。

ポイント A がポイント B よりも早い時点にあれば、上下アーム短絡の状態が発生していると考えられます (図 3.27 参照)。

上下アーム短絡が発生すると、コレクタ電流は図 3.27 の破線のようになり、スイッチング損失が増大します。

この時のゲート電圧波形においては、ポイント B の電圧値が増加して観測されます。

(d) 検証実施例

図 3.26 回路構成、図 3.27 での波形観測による検証の例を図 3.28 に示します。

本例は、上下アームの制御信号位相を変化させて観測したものです。

図 3.28 の波形 (1) では短絡の発生は見られませんが、(2) の波形では短絡が発生しているのが確認できます。

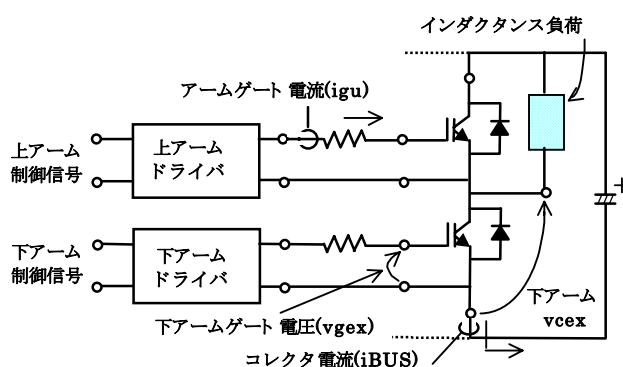


図 3.26 検証回路構成 (ハーフブリッジ回路)

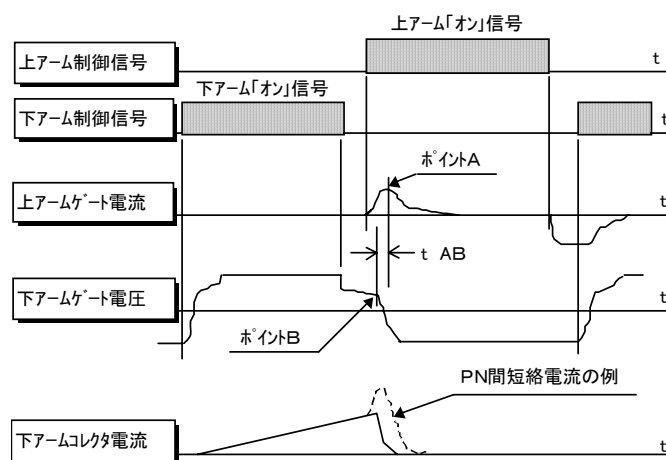
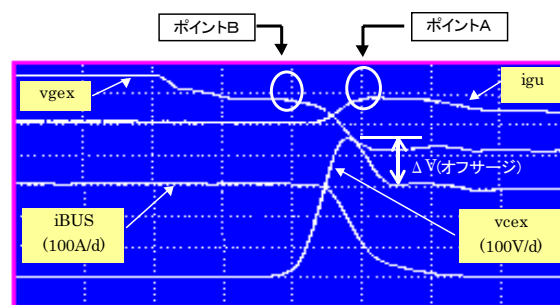
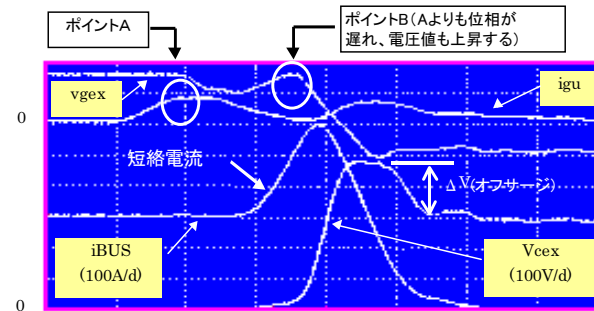


図 3.27 制御信号と上下アームゲート波形



(1) 上下短絡していない状態 (H=200ns/d)



(2) 上下短絡している状態 (H=200ns/d)

図 3.28 上下アーム短絡有無での波形観測例

(1); 上下短絡していない状態 (デッドタイムはほぼ 0us)
 (2); 上下短絡している状態 (短絡電流が約 300ns 通流)

3-9. 短絡保護

3-9-1. 短絡発生モード

インバータなどでの短絡発生モードは、以下の2つに大きく分けられます。

- (1) インバータ側で発生するもの（素子破壊、制御回路異常、筐体地絡等）
- (2) 負荷側で発生するもの（結線ミス、負荷異常、地絡等）

3-9-2. 短絡時の IGBT の動作

回路短絡時に IGBT がオン、またはターンオンの状態にある場合、素子の飽和電流となるまで回路電流が上昇します（飽和電流は、定格コレクタ電流の約 6 倍程度まで上昇します）。

また、IGBT には主回路の直流電圧のほとんどが印加された状態となります。

この状態が長時間続くと、素子は破壊（破壊初期はショートモード）してしまいます。

このような現象を回避するために、素子破壊に至る前に、電流を遮断（=ターンオフ）してください。

3-9-3. 短絡電流の遮断（=ターンオフ）

異常電流の遮断において、IGBT 素子そのもので電流遮断する方法について紹介します。

短絡電流が発生してコレクタ電圧 VCE が上昇してから、10 μ s 以内に電流を遮断（=ターンオフ）してください（過電流の通流幅は 10 μ s 以下としてください）。

なお、高耐圧 IGBT は短絡遮断を保証していない素子があるので、保証しているかどうかを確認してください。

このような短絡保護には、大きく分けて下表に示したような方法がとられます。

また、各方式における電流・電圧各波形は、一般的に図 3.29 に示したようになります。

表 3.1 短絡保護方式の例

No.	短絡保護方式	具体的な方法	特徴	留意点
1	短絡電流 ハード遮断	①過電流検出後、通常 のターンオフを行う。 ②過電流検出は、CT など で行われる（CT は出力 ライン以外に直流回路電 流用が必要です）。	①電流検出のみで可能。 ②ターンオフサージ電圧 大。 ③スナバ回路サージ電圧 大。（遮断電流大による影 響）	①サージ電圧の対策が必要。 ②過電流が大きいため、スナバ電圧の上昇にも注意が必要。 （過電流値とスナバCでサージ電圧が決定される。） [少なくとも定格 VCE を超えないこと。また、個別にピーク電圧 に制限があればそれに従う。]
2	短絡電流 ソフト遮断	①過電流検出後、ゲート 出力電圧抑制を行う。 ②ドライブ回路で VCE (sat) の異常（すなわち過電流 による電圧の上昇）を検 出し、電流をソフト遮 断させる。	①サージ電圧が小さい。 ②ドライブが自己アーム の VCE を検出する回路 が必要（異常検出）。 ③検出機能を流用して異 常アームを特定可能。 （別回路が必要です。）	①あらゆる動作モードでのターンオン動作で、誤検出しないよう にする（検出遅れを設定し誤検出の防止をする）。 ②特に、大電流領域での誤動作に注意が必要。 [少なくとも定格 VCE を超えないこと。また、個別にピーク電圧 に制限があればそれに従う。]

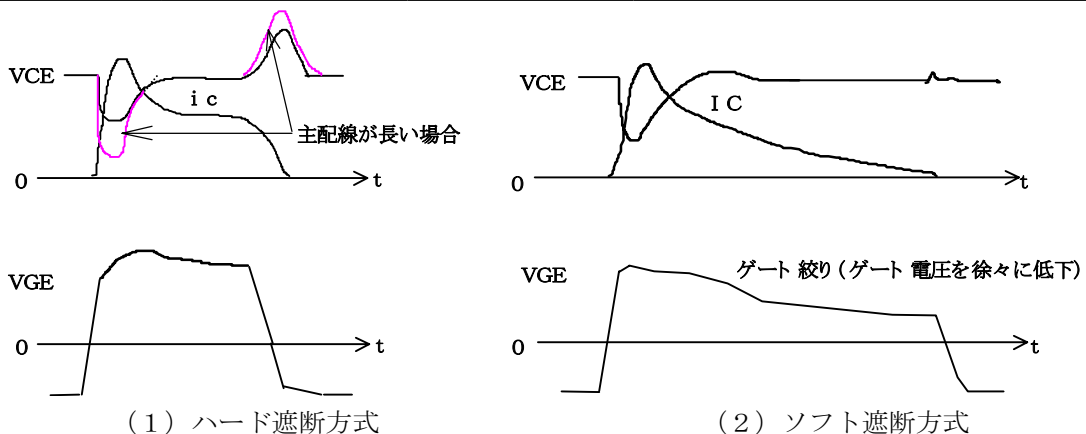


図 3.29 短絡保護方式による電流電圧波形の違い

4章. 取付け上のご注意

4-1. IGBT モジュールの冷却フィンへの取付け

4-1-1. 推奨締付トルク

仮締め、本締めの各推奨トルクを表 4.1 に示します。

表 4.1 IGBT モジュール取付け部の推奨トルク値

No.	ね じ	定格トルク (N・m)	推奨トルク (N・m)	仮締め時トルク (N・m)	本締め時トルク (N・m)
1	M5	2.8	2.6	1.0~1.5	2.6
2	M6	6.0	5.5	1.5~2.0	4.9~5.9

4-1-2. グリース（サーマルコンパウンド）の塗布とモジュール取付けの方法

グリースは素子の冷却上、必ず必要ですが、その塗布方法を誤ると、モジュール内部構造物（絶縁基板）の破損を誘発する場合があります。実装につき日立で確認したスクリーン印刷方法を示します。なお、フィン側の形状等で最適な実装方法は異なると考えています。本方法は、実装例を示した物で、実装後の状態を保証するものではないことをご了解下さい。

- (1) モジュールベース面とフィン面の異物を取り除いてください。モジュールのベース面にスクリーンを使って、グリースを塗布してください。

塗布は、ローラやハケによる塗布か、図 4.1 のように、スクリーン印刷方法を行なってください。

- (2) 塗布するグリースの厚みは、100~150 μ m 程度が適当であり、締付け後にモジュールベース部の外周全体から、グリースがはみ出す程度の量を使用してください（はみ出したグリースは、拭き取ってください）。

推奨するグリースとその比重を表 4.2 に示します。

- (3) モジュールを実装場所に置き、グリースがベース全面に広がるようにフィンに押しつけてください。バネ座金をはさんでボルトをセットしてください。
- (4) ねじ止めは、図 4.2 に示す順序、表 4.1 に示すトルクで締め付けてください。

手動、または電動ドライバで締め付けます（電動ドライバの場合、トルクのオーバーシュート現象に注意してください）。

図 4.2 に示す順序およびトルク値を逸脱すると、グリースの粘度によってベースがしなり、素子内部の絶縁基板の絶縁破壊が発生する場合があります。

また、仮締めと本締めの放置時間（間隔）が短いと、グリースの粘度によってベースがしなる場合があります。絶縁破壊する場合がありますので、放置時間（間隔）を確認してください。なお、モジュール取付け後に

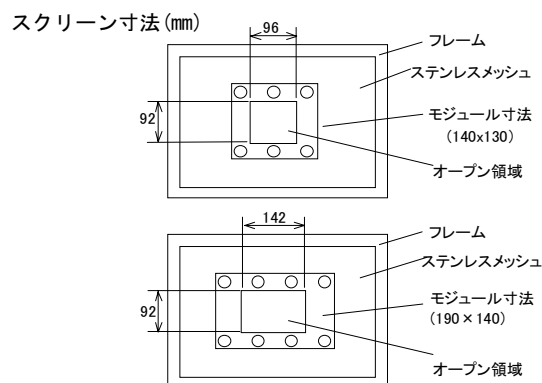
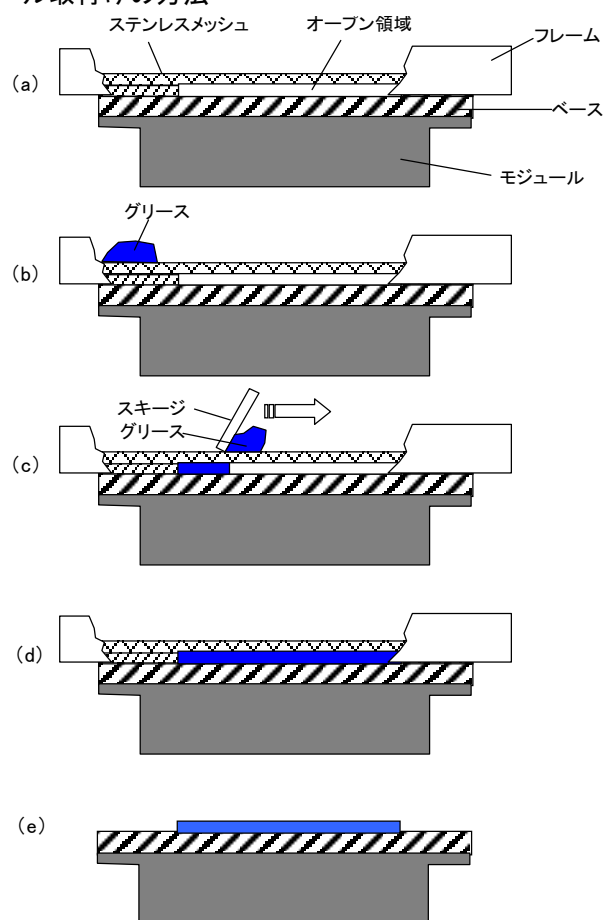


図 4.1 スクリーンによるグリース塗布方法

絶縁耐圧試験による確認をしてください。

(5) 本締め後、6時間以上おいて再度、締め付けてください（「増締め」といいます）。

トルク、およびねじの締め付け方法は、本締め時と同様に行ってください。

4-1-3. 推奨するねじの締め付け順序

6点締め、8点締めモジュールの仮締め、本締めの場合、図4.2に示すような順序で締め付けてください。

仮締め時；1⇒2⇒3⇒4…の順

本締め時；…4⇒3⇒2⇒1の順

なお、締め付ける順序は対角線の順とし、その開始位置の制約は特にありません。

(増締め時も同様です。)

表 4.2 推奨グリースとその比重

No.	メーカー	型 式	比 重
1	信越化学工業(株)	G747	2.81g/cm ³
2	東芝シリコン(株)	YG6260	2.50g/cm ³

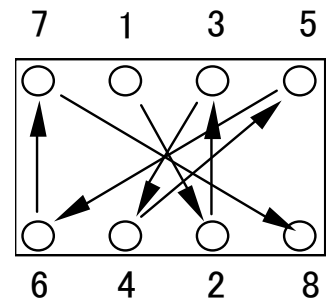
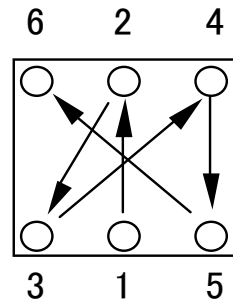


図 4.2 IGBT モジュール締め付け順序

4-1-4. 放熱板の表面粗さ、反りなどについて

重要事項

- 放熱板の表面粗さは、「25S」以上としてください。
- 放熱板の反りは、凹および凸について、ねじ穴間隔で50μm以下としてください。
- 放熱板の表面には、ばりなどが無いことを確認し、ねじ穴は必ず面取りをしてください。
- IGBT モジュールと放熱板の間に、切削物などの異物がはさまれないようにしてください。

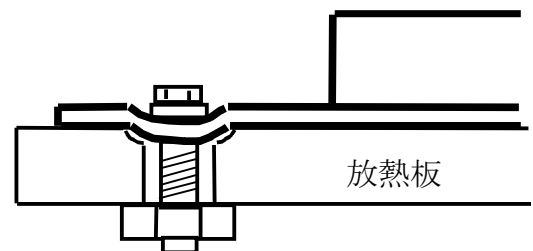
4-1-5. 放熱板のモジュール取付け用穴について

放熱板の取付け穴径が大きすぎますと、図4.3に示すように IGBT モジュールの金属ベースが変形し、モジュール内のチップを損傷する可能性があるため、使用するねじの大きさに適切な取付け穴径を選定してください。

使用するねじに対する取付け穴径、および面取りの推奨値を表4.3に示します。

表 4.3 推奨の取付け穴径と面取り値 (mm)

No.	ねじ	取付け穴径	推奨面取り値
1	M4	φ5	C0.5
2	M5	φ6	C0.5
3	M6	φ7.5	C0.5
4	M7	φ9.5	C0.5



取付け穴径が大きすぎると
IGBT モジュールの金属ベースが変形する

図 4.3 不適切な放熱板への取付け例

4-2. 端子への取付け

4-2-1. 端子の取り扱い

主端子部に、15kgf/端子以上の圧縮、引張り応力を掛けないでください。素子パッケージおよび主端子の変形によって、素子内部の配線が短絡する場合があります。

主端子/補助端子は、引き起しまたは屈伸しないでください。端子が欠損する恐れがあります。

また、端子部が重量物を保持するような構造をとる場合、端子に加重が掛かり折損が発生する場合がありますので、事前に実機での振動試験の評価をしてください。

4-2-2. 推奨するねじの締付け順序

端子部のねじの締付け順序については、特に規定はありません。

4-2-3. ねじ締付け方法

手動、または電動ドライバで、表 4.4 に示す推奨トルクで取り付けてください。

表 4.4 スクリュー端子部取付け時のトルク

No.	ねじ	定格トルク (N・m)	推奨トルク (N・m)	最小値トルク (N・m)	備 考
1	M4	2.0	1.8	1.6	補助端子部
2	M8	15.0	15.0	12.0	

4-2-4. 推奨するねじの深さ

スクリュータイプの取付け部の断面図は、図 4.4 のようになっています。ねじの深さ(長さ)の推奨値は、同図における「d」の長さ(ナットからはみ出し長さ)が1~2mmとなるように選択してください。

図 4.4 における各寸法(a、b、c)は、ねじの種類によって表 4.5 のようになります。ここで、これらの寸法には配線、そのほかの厚みは含まれていません。

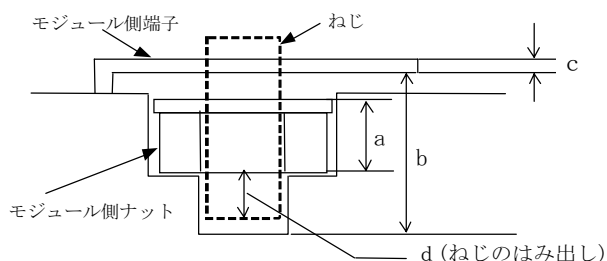


図 4.4 モジュール側ねじ穴の断面図

表 4.5 ねじ穴各部の寸法(図 4.4、a、b、c)

No.	ねじ	A(mm)	B(mm)	C(mm)	備 考
1	M4	3.2	10.0	0.6	補助端子部
2	M8	8.0	17.0	1.5	

4-3. 取り付ける環境

重要事項

モジュールを取り付ける際の環境については、以下の点に注意してください。

- 有害物質について：亜硫酸ガス、塩素ガスなどの腐食性ガスにさらされると、端子や金属ベースが腐食し、導電性が悪くなり、また、変色する場合がありますので、腐食性ガスは避けてください。
- その他：IGBT モジュールに雨滴がかからないよう、注意してください。

4-4. 保管・運搬上の注意事項

重要事項

(1) 以下の状態で保管してください。

- 温度：40℃以下
- 湿度：RH60%以下

- 塵あい：多量のほこりがある場所は避けてください。
- 有害物質：亜硫酸ガス、塩素ガスなどの腐食性ガスがないこと。
- その他：信号用ゲート・エミッタ端子に取り付けられている導電性スポンジ、または導電性テープは取り外さないでください

(2) 運搬時の注意事項

- 運搬、移動の際は丁寧に取り扱い、投げたり、落としたりしないでください。デバイスを破損させる原因になります。なお、衝撃を加えたり、落下させた素子は使用しないでください。
- 運搬箱に指定された「取扱い注意、ワレモノ注意」などの遵守事項を守り、機械的振動や衝撃を与えないように取り扱ってください。
- 運搬箱は、雨や水滴で濡らすことのないように十分注意してください。

4-5. 静電破壊に対する注意事項

重要事項

IGBT は MOS ゲート構造を持っているので、静電気対策として以下の点に十分注意してください。

- 使用するまでは、ゲート・エミッタ間に取り付けられている導電スポンジ、導電性金属、またはテープは取り外さないでください。
- 取り扱うときは、人体を高抵抗 (100kΩ～1MΩ程度) を介して接地のうえ、パッケージ本体を持ち、ゲート端子には触れないでください。
- 作業台、はんだごてなど、素子が触れるものは必ず接地してください。
- 試験、検査の際、測定器の残留電荷が除去されていることを確認してください。
また、各端子への電圧印加は「零 V」から始め、「零 V」に戻して終了してください。

4-6. IGBT モジュールの回路配置、配線方法

- (1) IGBT モジュールは、電源からの配線インダクタンスを小さくなるように配置してください。この配線インダクタンスが大きくなると、スイッチング時に過大な電圧の跳ね上がりを起こして、IGBT モジュールが過電圧破壊する場合があります。主回路配線インダクタンスを低減させるために、ラミネートブスバーを使用してください。
- (2) ゲート回路と IGBT モジュールの間の配線も、短くしてください。配線が長くなると、ゲート電圧の立ち上がりや立ち下がり時間が遅くなり、スイッチング時間が長くなったり、誘導ノイズを拾いやすくなります。配線インダクタンスを下げ、誘導ノイズを防止するには、より線 (ツイストペア) やシールド線構造が有効です。

4-7. 測定上の注意事項

- (1) V_{CES} 測定の場合は、制御用ゲート・エミッタ各端子をショートして測定してください。
オープン状態で電圧を印加すると、IGBT を破壊させる場合があります。
なお、ヒートサイクル試験などによってモジュールに結露の恐れがある場合は、100℃程度で2時間以上放置乾燥後、規定の温度条件で測定してください。
- (2) IGBT モジュールは、モジュール内部のチップとモジュール端子との間に配線があるため、スイッチング時において、モジュール端子電圧とチップに印加される電圧とは異なります。
これは、電流の時間変化率を di/dt 、配線のインダクタンスを L とすると、 $L \times di/dt$ の電圧がインダクタンスの両端に生じるためです。
したがって、ターンオン時は、チップに印加される電圧よりモジュール端子の電圧の方が高くなり、ターンオフ時は、モジュール端子の電圧よりもチップに印加される電圧が高くなります。
この内部配線のインダクタンスは、約 20～40nH ほどあります。電流時間変化率に影響されますが、素子定格電圧を超えた電圧を印加しないように注意してください。

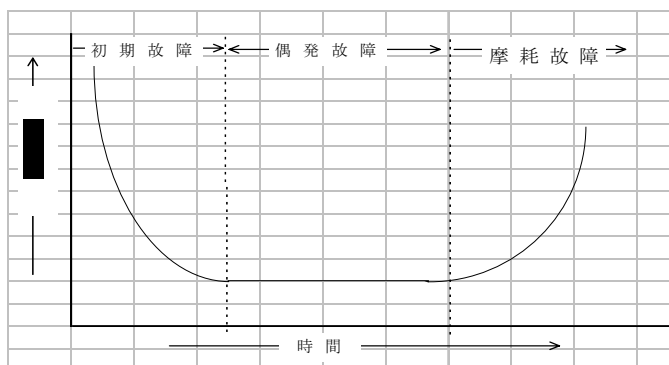
5章. 信頼性

信頼性に関して、一般的事項や用語の説明をします。

また、モジュール構造に対して特有の信頼性試験項目や内容を説明します。

5-1. 故障率

一般的に半導体デバイスの故障率は、時間の経過によって図 5.1 のように変化します。



初期故障：使用開始の比較的早い時期に設計、製造上、または使用環境との不適合によって生じる故障。

偶発故障：初期故障時期を過ぎ、摩耗故障時期に至る以前の時期に偶発的に発生する故障。

摩耗故障：疲労、摩耗、劣化現象などによって、時間とともに故障率が高くなる時期の故障。

図 5.1 半導体デバイスの故障率 (バスタブカーブ)

5-2. 故障因子

半導体部品の故障の起こりやすさを決定する要因は、下表 5.1 に示すように、製造上の内的因子と、使用上の外的因子に分けて考えられます。

下表に示したような故障の具体例が発生した場合には、原因となる因子を分析し、適切な対策方法を行なってください。

表 5.1 故障の原因

因子区分		故障の具体例
内的因子	部品の構成材、構造で決まる因子	(1) 金属間化合物生成故障 (パープルブレーグ) (2) 熱膨張係数のミスマッチ
	製造工程中のゆらぎによって発生する因子	(1) 内部ボンディングワイヤ不良 (位置、圧力、傷等の条件による) (2) チップ表面パターンの傷 (3) 気密封止不良 (4) チップはんだ付け部の不良
	熱的ストレス	(1) 熱膨張による摩耗劣化や破壊 (2) 化学変化の促進 (化合物生成等)
	電氣的ストレス	(1) 絶縁破壊 (パッケージ) (2) 絶縁破壊 (MOS 構造を持つチップの場合)
外的因子	機械的ストレス	(1) 端子折れ (2) パッケージの割れ (3) 絶縁破壊 (パッケージ)
	化学的ストレス	外部電極の錆
	放射線	表面電荷の蓄積による特性変化

5-3. 信頼性試験

5-3-1. 信頼性試験の種類と内容

当社で行われるモジュール製品での信頼性試験の種類と内容について、表 5.2 に例を示します。

表 5.2 信頼性試験の種類と内容

No.	試験項目	試験条件
1	温度サイクル試験	高温および低温の状態にさらした場合の耐性を判定する。 温度：(低温・常温・高温)、時間：各 60 分、サイクル数：200
2	衝撃試験	衝撃に対する耐性を判定する。 加速度：100G、方向：(X、Y、Z)、時間：6 μ s、各方向 3 回実施。
3	振動試験	振動に対する耐性を判定する。 加速度：10G、周波数：100Hz～2kHz、方向：(X、Y、Z)、各方向 2h
4	締付強度試験 (主端子/取付け)	主端子等を締付けに対する耐性を判定する。 締付トルク：規定トルク、放置時間：336 h
5	断続動作試験	断続的に通電し温度上昇・降下に対する素子の電氣的機械的耐性を判定する。 $\Delta T_c=70^\circ\text{C}$ 、正弦波 50Hz 半波 I_p =定格電流 (IGBT180° FWD90° 通流) サイクル数：30,000
6	直流電圧 印加試験	長期間にわたり電氣的、温度的ストレスを与えることによってその耐性を判定する。 T_a ：125 $^\circ\text{C}$ 、印加電圧：定格の 80%、印加時間：1,000h
7	交流電圧 印加試験	長期間にわたり電氣的、温度的ストレスを与えることによってその耐性を判定する。 T_a ：125 $^\circ\text{C}$ 、印加電圧(ピーク値)：定格値、印加時間：1,000h
8	高温放置 試験	高温で保存した場合の耐性を判定する。 T_a ：125 $^\circ\text{C}$ (定格最高保存温度)、印加時間：1,000h
9	低温放置 試験	低温で保存した場合の耐性を判定する。 T_a ：-40 $^\circ\text{C}$ (定格最低保存温度)、印加時間：1,000h
10	耐湿性試験	高温高湿状態での長時間の使用および保存に対する耐性を判定する。 RH=90%、 T_a ：60 $^\circ\text{C}$ 、放置時間：1,000h

5-3-2. 信頼性試験判定基準値

上記信頼性試験での素子劣化判定基準は、以下の項目および判定値で行われます。

- (1) リーク電流 I_{ces} 、 I_{ges} > 2.0 × 規格値
- (2) 飽和電圧 > 1.2 × 規格値
- (3) 熱抵抗 > 1.5 × 規格値

5-3-3. 信頼性試験実施数

信頼性試験の実施員数、および合否判定基準は以下のとおりです。

- (1) 試験員数：6 個
- (2) 合・否判定基準：0、1

5-3-4. 信頼性試験実施時期

信頼性試験の実施時期は、以下のとおりです。

- (1) 初期試作品ができあがった時点 (開発段階) で信頼性試験を実施
- (2) 最終試作品ができあがった時点 (量産段階) で信頼性試験を実施
(同一構造体の場合など、代表形式で代行評価することもあります。)

5-3-5. 試験結果（代表例）

下表に、当社代表型式品での信頼性試験項目と条件を示します。

(1) 素子概要

形式：MBN1200E33E

定格：3, 300V/1, 200A

接合温度：-40～125℃

(2) 試験項目と条件

試験データ：試験の種類および試験条件

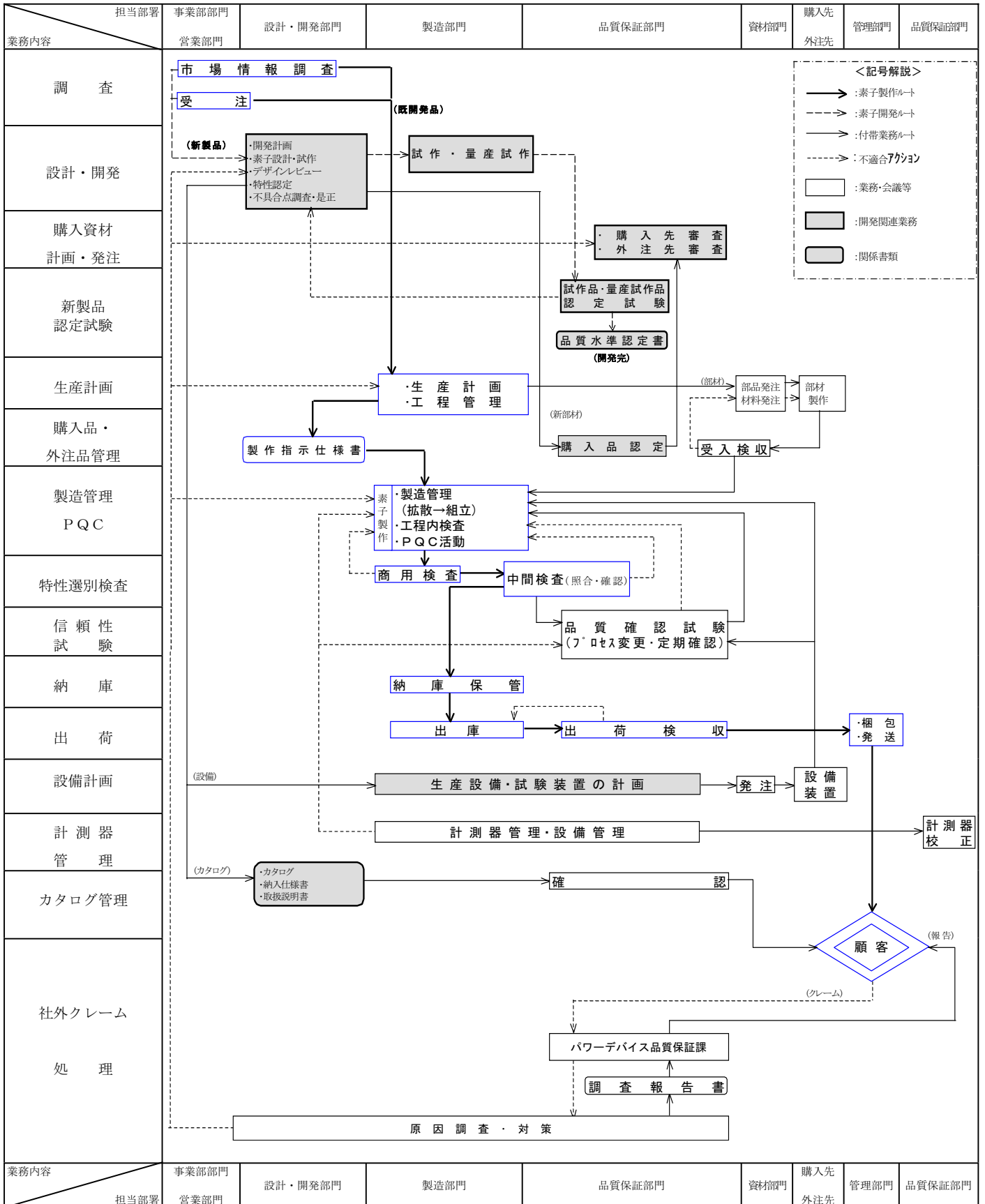
表 5.3 信頼性試験の種類と試験条件

区分	試験項目	試験条件	試験員数	合格判定個数
熱的環境試験	高温放置試験	温度:125℃ 時間:1,000h	6	6
	低温放置試験	温度:-40℃ 時間:1,000h	6	6
	温度サイクル試験	-40℃～常温～125℃ 時間:各 60 分 回数:200 回	6	6
	耐湿寿命試験	温度:60℃ 湿度:90%R.H. 時間:1,000h(熱疲労条件で 24 時間通電)	6	6
	高温高湿バイアス試験	温度:85℃ 湿度:85%R.H. 電圧:2.6kVDC 時間:1,000h(熱疲労条件で 24 時間通電)	6	6
機械的強度試験	可変周波振動試験	全振幅 10G、100Hz～2kHz X、Y、Z 方向 各 2h	6	6
	可変周波振動試験	全振幅 1.5mm、10Hz～55Hz X、Y、Z 方向 各 2h	6	6
	定周波振動試験	10G、60±20Hz X、Y、Z 方向 各 32h	6	6
	衝撃試験	100G、6ms X、Y、Z 方向 各 3 回	6	6
	フィン締付けトルク試験	規定トルク 336h 室温放置 100μm 凸 Al フィン	6	6
	端子締付けトルク試験	規定トルク 336h 室温放置 FA フィン(20μm 以下) 5t Cu 板使用	6	6
電氣的機能試験	CE 間交流ブロッキング試験	VGE=3,300Vp GE 間短絡 Tj=125℃ 1,000h	6	6
	CE 間直流ブロッキング試験	VGE=2,600VDC GE 間短絡 Tj=125℃ 1,000h	6	6
	GE 間交流ブロッキング試験	VGE=20Vp CE 間短絡 Tj=125℃ 1,000h	6	6
	熱疲労寿命試験	If=1,200A ΔTc=70℃ VGE=15V 30,000 回 (注) IGBT:180°、ダイオード:90° 通流	6	6
	突入電流試験	If=1,200A(IGBT のみ通電:50Hz 全波) ΔTj=60℃、100,000 回	6	6
	静電破壊試験	200V、200pF、0Ω、CE 間短絡	6	6
	絶縁耐圧試験	5,700Vrms × 8min.+4,500Vrms × 22min.印加 判定:試験終了時に破壊なきこと(10mA 以下)	6	6

5-4. 品質保証体系図

下表に当社の品質保証体系を示します。

表 5.4 当社での品質保証体系図



6章. トラブル時の対応

6-1. IGBT モジュールの故障モード (電氣的故障モード)

IGBT が破壊した際には、以下のツリーに従って破壊原因を調査してください。ただし、このツリーは IGBT 破壊原因調査の一助となりますが、必ずしも原因を特定できるとは限りません。

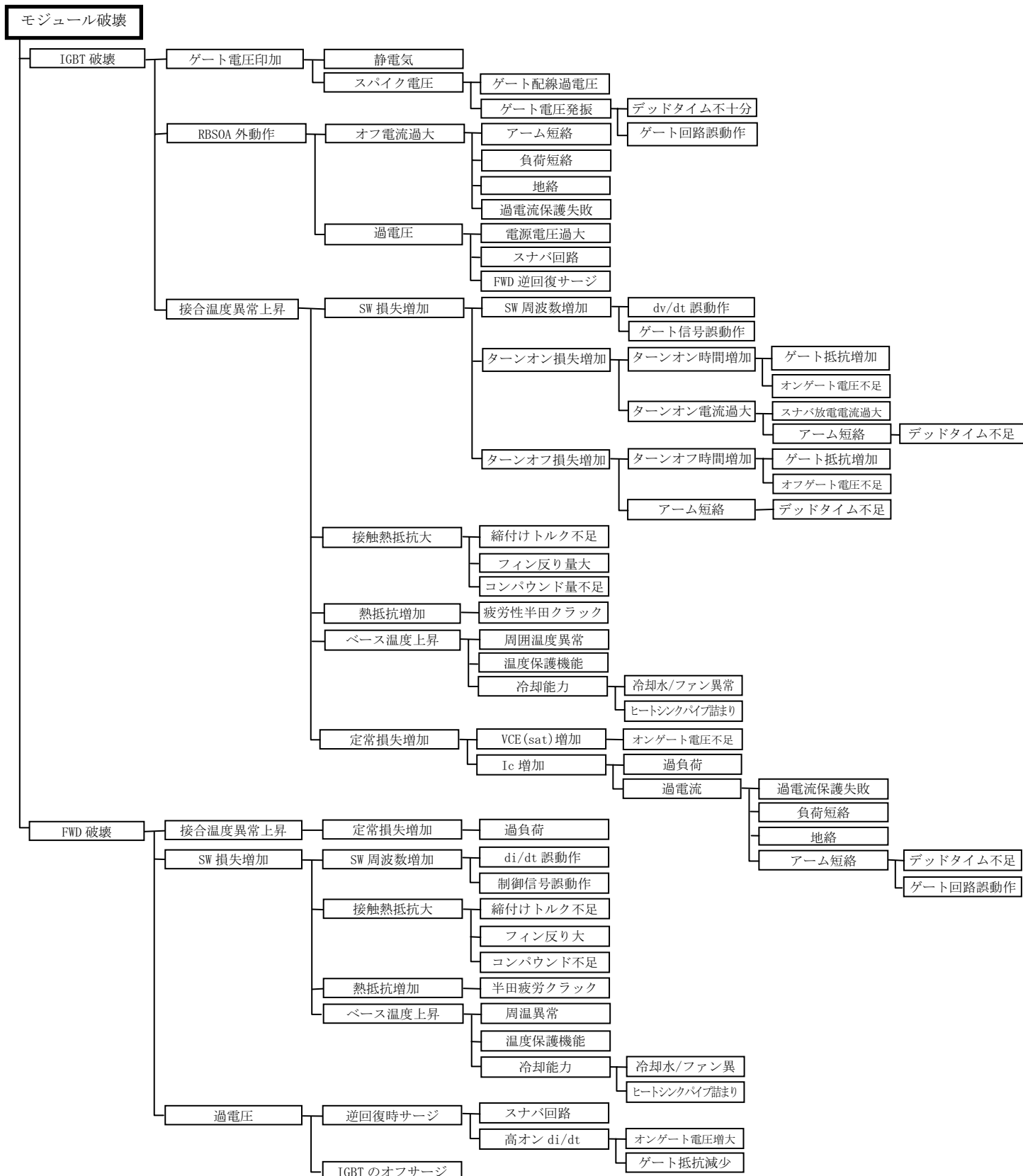


図 6.1 IGBT モジュールの故障モード

6-2. デバイスチェック方法

ここでは、半導体カーブトレーサーを用いて、IGBT の電気的特性を確認する方法を紹介します。各電流と電圧のデータから良否を判定する事例を下表に示します。

なお、素子が劣化・破壊している場合は、本方法で二次破壊することがあるので注意してください。

表 6.1 素子特性の確認方法（参考）

No.	チェック端子	カーブトレーサー出力波形	
		健全品での例	不具合品での例
1	<p>C-E 間 (G-E 間結線が必要)</p>	<p>健全品での例</p> <p>ICE ($\sim 0.1\text{mA/d}$)</p> <p>IGBT耐圧</p> <p>アバランシェ電圧</p> <p>リーク電流</p> <p>VCE ($\sim 200\text{V/d}$)</p> <p>FWD順特性</p> <p>《健全品の条件》 健全品でのリーク電流はSpec値以下耐圧はSpec値以上となる。 FWDのVbが0.3V程度ある。</p> <p>拡大 (1mA/d, 0.5V/d) V=-0.3VでICE ≤ 1 mA (FWDのビルトイン電圧V_b)</p>	<p>不具合品での例</p> <p>ICE ($1\text{mA}\sim\text{数十mA/d}$)</p> <p>不具合品</p> <p>健全品</p> <p>抵抗性の特徴を伴う(数Ω～)</p> <p>IGBTがショート(抵抗性破壊)の場合</p>
2	<p>G-E 間</p>	<p>健全品での例</p> <p>IGE ($10\mu\text{A}\sim 1\text{mA/d}$)</p> <p>VGE (T0) 電圧近傍で電流が変化する。</p> <p>印加電圧maxで電流が“0”になる。</p> <p>VGE (1V/d)</p> <p>入力容量のため、変位電流が流れる。</p> <p>健全品の場合(カーブトレーサーはACモード)</p> <p>《健全品の条件》 VGE(T0) 電圧で電流が変化する。 印加電圧maxで電流が“0”となる。 Spec値までの印加電圧でもリーク電流はない。 入力容量のため、変位電流が流れる。</p>	<p>不具合品での例</p> <p>IGE (1mA/d)</p> <p>健全品</p> <p>(1V/d)</p> <p>VGE</p> <p>抵抗モードの特性劣化</p> <p>CG間がショート、GE間の耐圧劣化</p>
3	<p>CとG-E間 (IGBTがオンすることを確認するための試験です。)</p>	<p>健全品での例</p> <p>I ($10\text{mA}\sim\text{d}$)</p> <p>IGBT順方向</p> <p>FWDの順特性が見える。</p> <p>V \approx VGE (T0) でIGBT電流が流れ始める。</p> <p>この部分では電流がほとんど流れない</p> <p>FWDの順特性</p> <p>《健全品の条件》 V \approx VGE (T0) でIGBT電流が流れ始める。 FWDの順特性(ビルトイン電圧)が見える。</p>	<p>不具合品での例</p> <p>I ($10\text{mA}\sim\text{d}$)</p> <p>健全品</p> <p>V ($1\sim 2\text{V/d}$)</p> <p>不具合の場合、VCE (T0)以下で電流が流れる。</p> <p>VGE(T0)が低下劣化した場合</p>

* 1. ここでは、カーブトレーサーの測定モードをAC(交流電源出力)として説明していますが、必要に応じてDCモード(正、もしくは負の電圧出力)で観測してください。

DCモードでは、変位電流が小さくなり、リーク性不具合が観測しやすくなります。

* 2. モジュールの絶縁耐圧や温度変化による特性不具合の確認は本方法では困難です。

* 3. 電源電圧を数Vとしたテスターなど(簡易テスター)による素子特性チェックも可能ですが、この場合は、素子の健全性を「完全に把握すること」は困難です。

7章. 事故時の注意事項

7-1. 警告事項

7-1-1. パッケージの破裂に対する警告事項

警 告

- 負荷短絡やアーム短絡が発生した場合、短時間(数 μ s 程度)の間に、IGBT モジュールをターンオフさせてください。
パッケージが破裂することがあります。

これは、短絡時のエネルギーが IGBT モジュールに蓄積され、瞬時に開放されるからです。
したがって、以下のような注意を払ってください。

- (1) IGBT モジュールは、密閉したケースなどに収納し、破裂しても人に危害を与えないようにする。
- (2) IGBT モジュール収納の密閉ケースは、通電中は開かないようにする。

7-1-2. 火傷、感電に対する警告事項

警 告

- 通電中は、製品に触れたり近づいたりしないでください。
火傷、感電、の恐れがあります。

7-2. 注意事項

注 意

- IGBT 破壊後に、長時間(数百 μ s 程度)短絡電流が流れないようにしてください。
発煙、発火の恐れがあります。

IGBT モジュールは、UL94V0 難燃性クラスの材料を使用していますが、ヒューズで保護してください。