

mitsubishi

IGBTモジュール アプリケーションノート

第5世代IGBT 『 *CSTBTTM* 』 チップ搭載

12NF/24NF/24Aシリーズ

2014年03月作成

目次

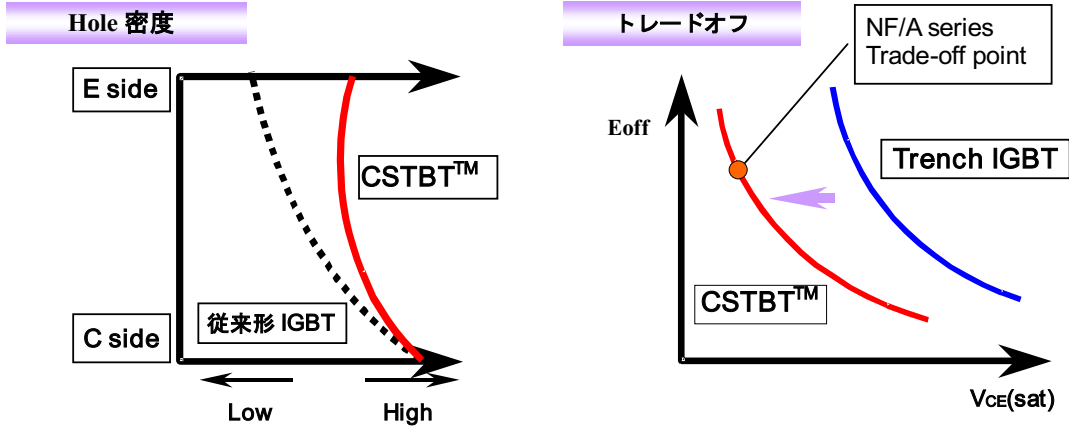
□ NF/A シリーズ IGBT モジュールの特長	3
□ 品種一覧	4
□ 用語説明	5
□ 形名のつけ方	8
□ 交流モータ制御（汎用インバータ）への適用例	9
□ 構造	10
□ 安全規格（UL）について	11
□ パワーモジュールを正しく安全に使用するために	14
□ パワー素子の実装配置	16
1. コンデンサの実装配置	16
2. 取付け上の注意事項	16
3. 熱抵抗の考え方	18
□ パワーモジュールの信頼性	37
1. はじめに	
2. 半導体デバイスの信頼性概説	
2.2 パワーモジュールの故障要因について	38
2.3 パワーモジュールの熱疲労現象について	39
3. 品質保証活動について	42
4. 信頼性試験	44
5. 故障解析	45
6. デイレーティングと信頼度予測	
7. むすび	
□ IGBT モジュールの使い方	46
1. IGBT モジュールの特長（特性）	
2. 静電破壊に対する注意事項	
3. デイレーティングについて	
4. 実使用上の注意事項	47
5. スイッチング損失	54
6. 並列接続	64
7. 安全動作領域	66
8. パワー損失と接合温度	69
□ 平均電力損失簡易計算式	73
□ 安全設計に関するお願い	75
本資料ご利用に際しての留意事項	

NF/AシリーズIGBTモジュールの特長

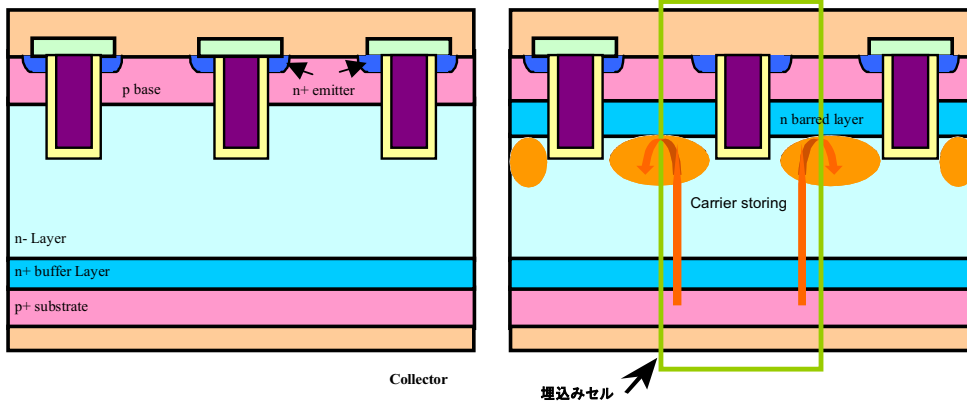
NF/Aシリーズ IGBTモジュールの特長

1. 第5世代 IGBT チップ搭載

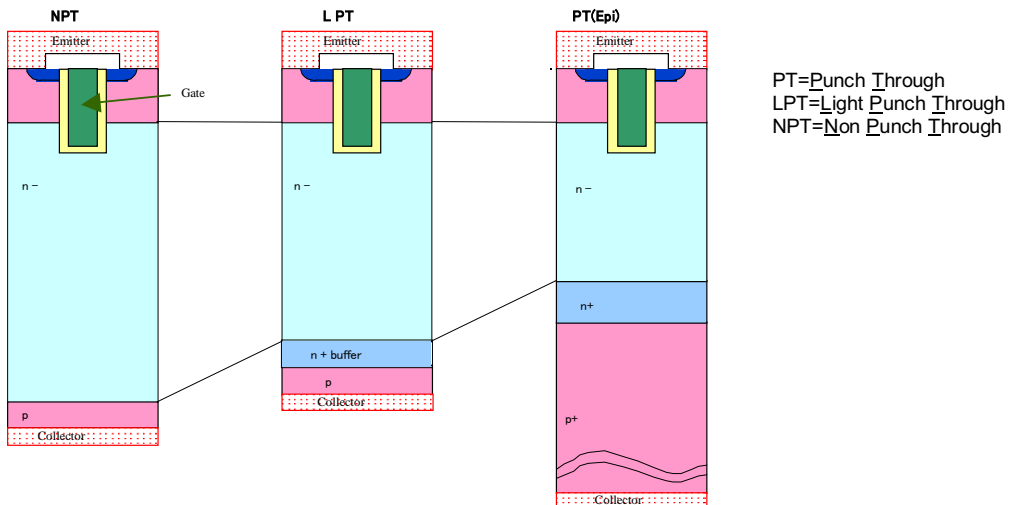
■ トレンチゲートに電荷蓄積層を追加した新構造(CSTBT™)により、ターンオフ損失(E_{off})とコレクタ・エミッタ間飽和電圧($V_{CE(sat)}$)のトレードオフ性能を向上。ただし、NF/Aシリーズ搭載のCSTBT™チップにはライフタイム制御を行っておりませんのでトレードオフカーブは存在しません。



■ 埋め込みセル結合技術の適用により、短絡耐量(SCSOA)の向上及びゲート容量を低減→低駆動電力
CSTBT™:Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor



■ 1200V クラスチップには、LPT(Light Punch-Through)構造、600V クラスチップにはPT(Punch-Through)構造を採用



2. 低インダクタンスパッケージ

■ 弊社第三世代IGBTモジュール《Hシリーズ》との外形（取付け、端子間ピッチなど）互換性とトレンチIGBTモジュール《Fシリーズ》相当の低インダクタンス化を実現（一部機種を除く）

品種一覧

品種一覧

■IGBTモジュール

2素子入(Dual)

600V
CM150DY-12NF
CM200DY-12NF
CM300DY-12NF
CM400DY-12NF
CM600DY-12NF

1200V

CM100DY-24NF
CM150DY-24NF
CM200DY-24NF
CM300DY-24NF
CM400DY-24NF
CM600DU-24NF

MPD

1200V
CM900DU-24NF
CM1400DU-24NF

6素子入(6pack)

600V
CM 75TL-12NF
CM100TL-12NF
CM150TL-12NF
CM200TL-12NF

1200V

CM 50TL-24NF
CM 75TL-24NF
CM100TL-24NF

CM150TL-24NF
CM200TL-24NF

7素子入(7pack)

600V
CM 75RL-12NF
CM100RL-12NF
CM150RL-12NF
CM200RL-12NF

1200V

CM 50RL-24NF
CM 75RL-24NF
CM100RL-24NF
CM150RL-24NF
CM200RL-24NF

Aシリーズ2素子入

1200V
CM100DY-24A
CM150DY-24A
CM200DY-24A
CM300DY-24A
CM400DY-24A
CM600DY-24A

Aシリーズ1素子入

1200V
CM400HA-24A
CM600HA-24A
CM600HB-24A

※MPD(Mega Power Dual) : 大型パッケージ採用の2素子入IGBTモジュールの総称
※CM400HA/600HA-24A, CM600HB-24AはRoHS非対応です。

関連製品

■ダイオードモジュール〈一般整流用〉

RM20TPM-H RM20TPM-2H
RM30TPM-H RM75TPM-M,H,24,2H

■高速ダイオードモジュール〈CRDiスナバ回路用〉

RM50HG-12S
RM25HG-24S

■ハイブリッドIC (イサハヤ電子株式会社殿製 : お問い合わせ先 : ホームページ <http://www.idc-com.co.jp/>)

VLA500-01 ★ M57159L-01 M57962AL-01
VLA502-01 ★ M57959AL-01 M57962CL-01

★新製品

※電鉄の車軸モータ駆動など高度信頼性を要求される用途には「HVIGBTシリーズ」をご検討ください。

用語説明

用語説明

一般1

項目		説明
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲートバイポーラトランジスタ
FWDi	Free Wheeling Diode	フリーホイール（フライホイール）ダイオード
IPM	Intelligent Power Module	インテリジェントパワーモジュール
tdead	デッドタイム	上下アームトランジスタ間のオン信号に設ける休止（無信号）時間。
IPM(モータ)	Interior Permanent Magnet Motor	磁石埋込み形モータ
PC	Programable Controller	三菱電機のシーケンサの略称。一般的にはPLCが使用される。
PLC	Programable Logic Controller	
PC	Opto-coupler	フォトカブラ
CMR	Common Mode Noise Reduction	フォトカブラの入出力間コモンモード電圧の最大上昇率。
CM _H		既定のハイレベルを維持できる、入出力間コモンモード電圧の最大上昇率。
CM _L		既定のローレベルを維持できる、入出力間コモンモード電圧の最大上昇率。
CTR	変換効率	フォトカブラの入力LED電流に対する出力電流の比
DBC®	Direct Bond Copper	セラミック基板上に銅回路板を直接接合する技術で、東芝マテリアル株式会社(株式会社東芝ディスプレイ・部品材料統括)の登録商標。ろう材を介してセラミックスと銅回路板を貼り合せたものは活性金属銅回路(Active Metal Brazed Copper:AMC)基板と呼んでいる。
FASTON®	Fast On TAB terminal	タブ式端子の一種で、Tyco Electronics AMP(米社)の登録商標。
HIC®	Hybrid Integrated Circuit	ハイブリッドICの株式会社村田製作所の登録商標。
UL	Underwriters Laboratories	米国の安全規格のひとつ。アメリカ保険業者安全試験所が認定。三菱パワーモジュールのUL認定品はUL1557に適合。
RoHS	Rstriction of Hardous Substances	電気製品への4種の重金属と2種の臭素系難燃剤の使用禁止規制。「基本概念は、電気機器の新製品への鉛、水銀、カドミウム、六価クロムの重金属と、臭化物難燃剤PBBとPBDEの使用を2006年7月1日までに原則として非含有とすることを目的とされています。」 WEEE:waste electrical and electronic equipment

一般2

記号	項目	定義または説明
T _a	周囲温度	自冷または風冷で使用する場合、発熱体の影響を受けない点の空気温度。
T _c	ケース温度	素子の外囲器（ベース板）上の定められた点の温度。
T _f	フィン温度	放熱器（ヒートシンクまたは放熱フィン）上の定められた点の温度
T _c '	（ケース温度）	特にダッシュを付す場合は、付さないものと異なる点で定義される温度。

用語説明

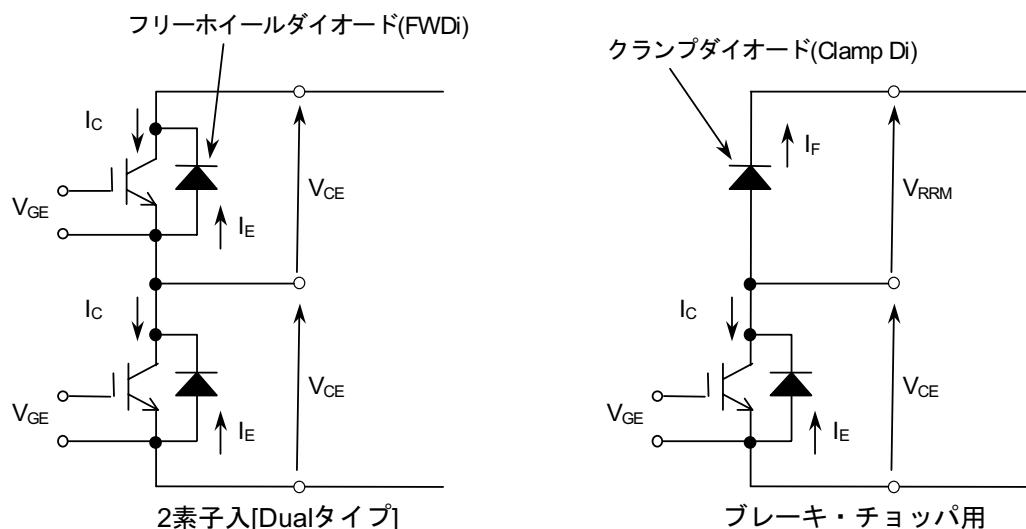
最大定格

記号	項目	定義または説明
V_{CES}	コレクタ・エミッタ間電圧	定格接合部温度範囲内においてゲート・エミッタ間を短絡した状態で、コレクタ・エミッタ間に短時間印加し得る最大電圧。
V_{GES}	ゲート・エミッタ間電圧	定格接合部温度範囲内においてコレクタ・エミッタ間を短絡した状態で、ゲート・エミッタ間に短時間印加し得る最大電圧。
V_{RRM} ($-V_{AK}$)	カソード・アノード間 (繰返し) 逆電圧	定格接合部温度範囲内において、クランプダイオードのカソード・アノード間に短時間印加し得る最大電圧。
V_{CC}	電源電圧	定格接合部温度範囲内においてコレクタ・エミッタ間に印加し得る直流電源電圧。
I_C	コレクタ電流	定格接合部温度範囲内においてコレクタからエミッタに連続して流すことのできる最大電流。
I_{CM}	コレクタ電流	定格接合部温度範囲内において、コレクタからエミッタに短時間に流すことのできる最大電流。通常は I_C の2倍。
I_E	エミッタ電流	定格接合部温度範囲内において、エミッタからコレクタ（フリーホイールダイオード）に流すことのできる最大電流。
I_{EM}	エミッタ電流	定格接合部温度範囲内において、エミッタからコレクタ（フリーホイールダイオード）に短時間に流すことのできる最大電流。通常は I_E の2倍。
I_F	順電流	定格接合部温度範囲内において、クランプダイオードのアノードからカソードへ流すことのできる最大電流。
I_{FM}	最大順電流	定格接合部温度範囲内において、クランプダイオードのアノードからカソードへ短時間に流すことのできる最大電流。通常は I_F の2倍。
P_C	コレクタ損失	規定のケース温度において、IGBTが最大限許容できる電力損失。
T_j	接合温度	チップが許容できる温度範囲。
T_{stg}	保存温度	電力を印加しない状態で保存する場合の周囲温度範囲で、最高許容温度と最低許容温度。
V_{iso}	絶縁耐力（絶縁耐電圧）	主端子と制御端子を一括して短絡した状態において、端子-ベース板間に印加し得る最大電圧。
-	締付けトルク強度	端子ねじ、取付けねじの締付けトルク範囲。

熱的定格・特性

記号	項目	定義または説明
R_{th}	熱抵抗	接合部の消費電力による熱流が平衡状態にあるとき、接合部の温度が外部の指定点よりも単位電力あたり何°C上昇するかを表す値。
$R_{th(j-c)}$	熱抵抗	接合部（チップ）から外囲器（ベース板）表面までの熱抵抗。
$R_{th(c-f)}$	熱抵抗	外囲器（ベース板）表面から放熱器（ヒートシンクまたは放熱フィン）までの熱抵抗。

※ I_E と I_F は結線などの違いにより下図のように使い分けております。



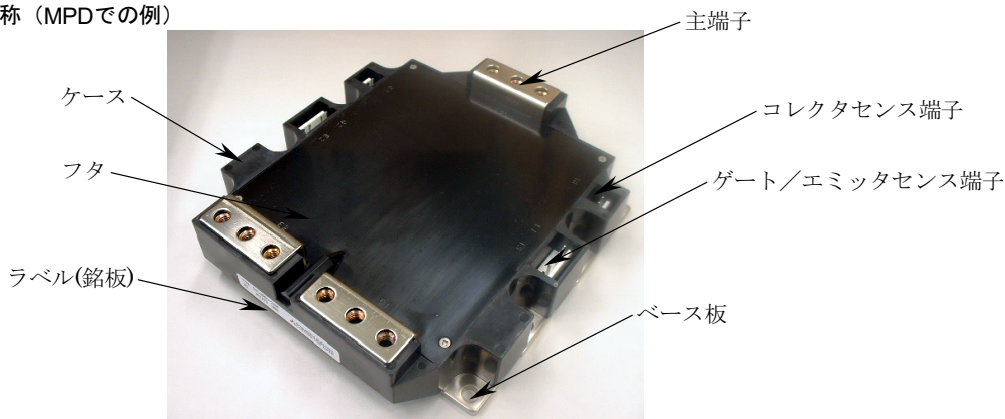
用語説明

電気的特性

記号	項目	定義または説明
I_{CES}	コレクタ遮断電流	ゲート・エミッタ間を短絡した状態において、コレクタ・エミッタ間に規定の電圧を印加したとき流れるコレクタ電流。
$V_{GE(th)}$	ゲートしきい値電圧	規定の条件において、規定のコレクタ電流を流すのに必要なゲート・エミッタ間電圧。
I_{GES}	ゲート漏れ電流	コレクタ・エミッタ間を短絡した状態において、ゲート・エミッタ間に規定の電圧を印加したとき流れるゲート電流。
$V_{CE(sat)}$	コレクタ・エミッタ間飽和電圧	規定の条件にて、規定のコレクタ電流を流した。ときのコレクタ・エミッタ間電圧。
C_{ies}	小信号入力容量	規定の条件にて、コレクタ・エミッタ間を交流的に短絡した状態において、ゲート・エミッタ端子間からみた素子内部の容量。
C_{oes}	小信号出力容量	規定の条件において、ゲート・エミッタ間を交流的に短絡した状態において、コレクタ・エミッタ端子間からみた素子内部の容量。
C_{res}	小信号帰還容量	規定の条件にて、コレクタ・エミッタ間を交流的に短絡した状態において、コレクタ・ゲート端子間からみた素子内部の容量。
$t_{d(on)}$	ターンオン遅れ時間	ターンオン時において、ゲート電圧の0%からコレクタ電流が最終値の10%に上昇するまでの時間。
t_r	ターンオン上昇時間	ターンオン時において、コレクタ電流が最終値の10%から90%まで上昇するまでの時間。
$t_{d(off)}$	ターンオフ遅延時間	ターンオフ時において、ゲート電圧が90%に下降した時間からコレクタ電流が最終値の90%に下降するまでの時間。
t_f	ターンオフ下降時間	ターンオフ時において、初期のコレクタ電流が90%に下降した時間から10%に下降するまでの時間。
t_{rr}	逆回復時間	規定の条件において、内蔵フリーホイールダイオードの電流を順方向から逆方向に切り換えたとき、逆回復電流が流れる時間。
Q_{rr}	逆回復電荷	規定の条件において、内蔵フリーホイールダイオードの電流を順方向から逆方向に切り換えたとき、素子内部に蓄積された電荷。逆方向に流れる逆回復電流の時間積分。
V_{EC}	エミッタ・コレクタ間電圧	内蔵フリーホイールダイオードに規定の電流を流したときの電圧降下。
R_G	外付けゲート抵抗	素子と駆動回路間に接続するゲート抵抗の許容範囲。
E_{on} $E_{sw(on)}$	ターンオンスイッチング損失	ターンオン時において、コレクタ電流が最終値の10%まで上昇した時点からコレクタ・エミッタ間電圧がターンオン開始直前の10%まで下降した時点までの、コレクタ電流とコレクタ・エミッタ間電圧の積の時間積分値。
E_{off} $E_{sw(off)}$	ターンオフスイッチング損失	ターンオフ時において、コレクタ・エミッタ間電圧が最終値の10%まで上昇した時点からコレクタ電流がターンオフ開始直前のX%まで下降した時点までの、コレクタ電流とコレクタ・エミッタ間電圧の積の時間積分値。 ※：X%：NF/Aシリーズは2%、Fシリーズまでは10%(一部の機種は3%)
E_{rr} E_{rec}	逆回復損失	ターンオン時において、ダイオードの順方向電流が0Aになった時点から、逆回復電流がピーク電流まで達した後0Aとなる時点までの逆回復電流とコレクタ・エミッタ間電圧の時間積分値

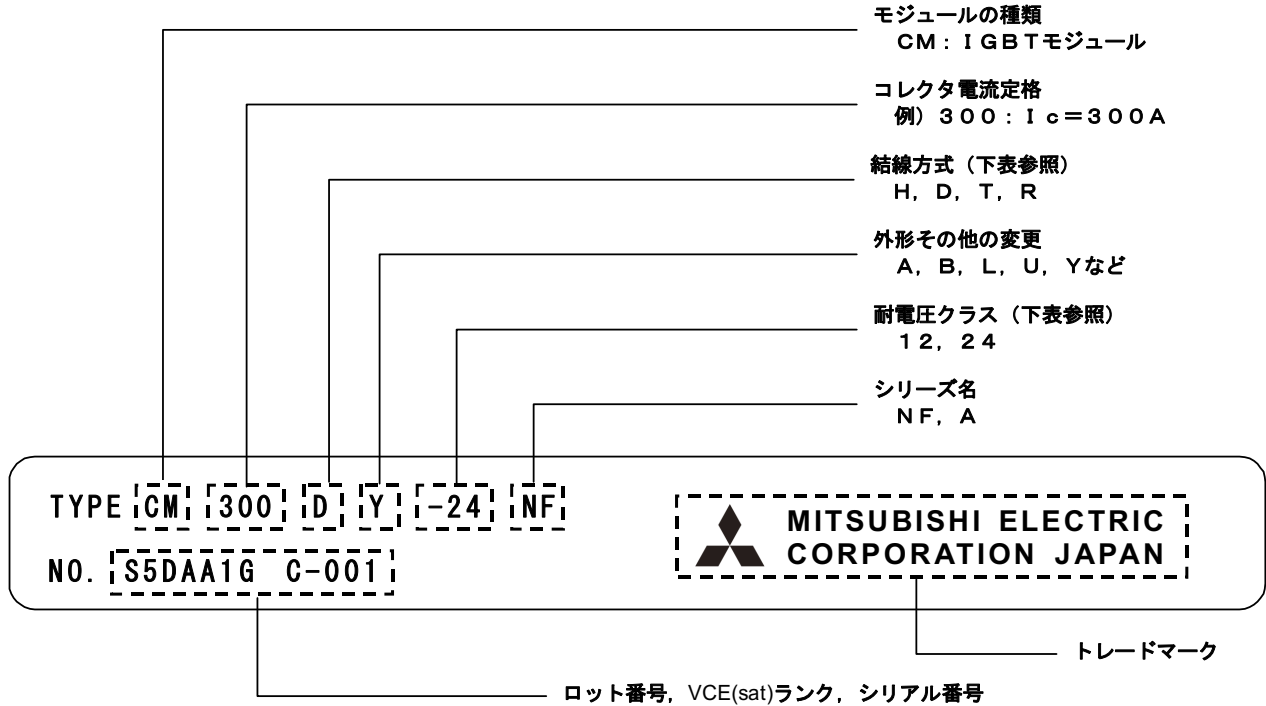
※記号や定義は、準拠規格(IECなど)の見直しにより変更となる場合があります。

各部名称 (MPDでの例)



形名のつけ方

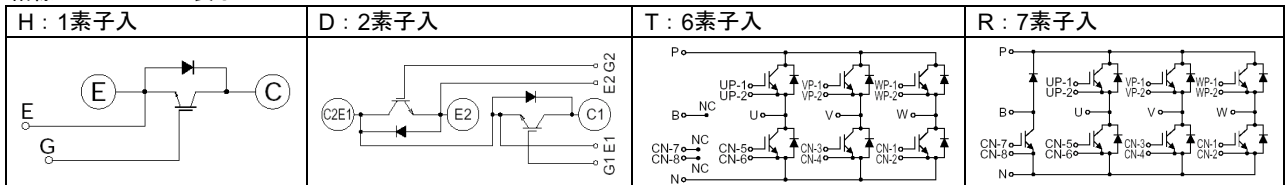
形名のつけ方（ラベル記載情報）



耐電圧クラス（数字の50倍が定格 V_{CES} ）

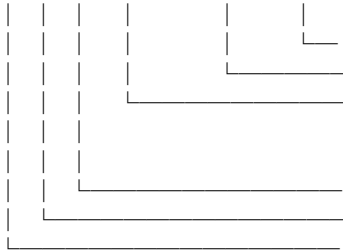
耐電圧クラス	V_{CES} (V)	推奨交流入力電圧 (V)	最大直流母線電圧 (V)
12	600	220	400
24	1200	440~480	800

結線（ラベルへの表示はありません）



ロット番号の読み方

S 5 D AA 1 G C - 0 0 1



シリアル番号：一般量産品には記載されません

$V_{CE(sat)}$ ランク：並列仕様のみ。記号とロット番号の間にスペースが1文字分空きます

製造管理番号（3桁または4桁）

4桁で末尾が「G」の場合はRoHS対応品。「G」はRoHS対応品を示す識別記号

製造月（1桁）：1~9：1月~9月，O：10月，N：11月，D：12月

製造年（1桁）：西暦末尾下1桁，例：7=1997年，5=2005年又は1995年 など

UL登録工場コード（1桁）

例) S：ITセミコン（株）本社工場，N：ITセミコン（株）市島工場

ITセミコン（株）URL：<http://www.itsemicon.jp/>

交流モータ制御（汎用インバータ）への応用

交流モータ制御（汎用インバータ）への適用例

■AC220V 電源

適用 モータ定格 (kW)	インバータ用 IGBTモジュール			コンバータ用 ダイオード
	NFシリーズ	Fシリーズ	Uシリーズ	
5.5	CM75TL/RL-12NF	CM75TU-12F	CM75TU-12H CM75DU-12H × 3	RM30TB-H
7.5	CM75TL/RL-12NF	CM75TU-12F	CM100TU-12H CM100DU-12H × 3	RM30TA-H
11	CM100TL/RL-12NF	CM100TU-12F	CM100TU-12H CM100DU-12H × 3	RM50TC-H RM60DZ-H × 3
15	CM150DY-12NF × 3 CM150TL/RL-12NF	CM150TU-12F	CM150TU-12H CM150DU-12H × 3	RM75TC-H RM60DZ-H × 3
18.5	CM200DY-12NF × 3 CM200TL/RL-12NF	CM200TU-12F	CM200TU-12H CM200DU-12H × 3	RM60DZ-H × 3
22	CM200DY-12NF × 3 CM200TL/RL-12NF	CM300DU-12F × 3	CM300DU-12H × 3	RM100DZ-H × 3
30	CM300DY-12NF × 3	CM300DU-12F × 3	CM300DU-12H × 3	RM100DZ-H × 3
37	CM400DY-12NF × 3	CM400DU-12F × 3	CM400DU-12H × 3	RM150DZ-H × 3
45	CM400DY-12NF × 3	CM400DU-12F × 3	CM600HU-12H × 6	RM150DZ-H × 3
55	CM600DY-12NF × 3	CM600DU-12F × 3 CM600HU-12F × 6	CM600HU-12H × 6	RM150DZ-H × 3

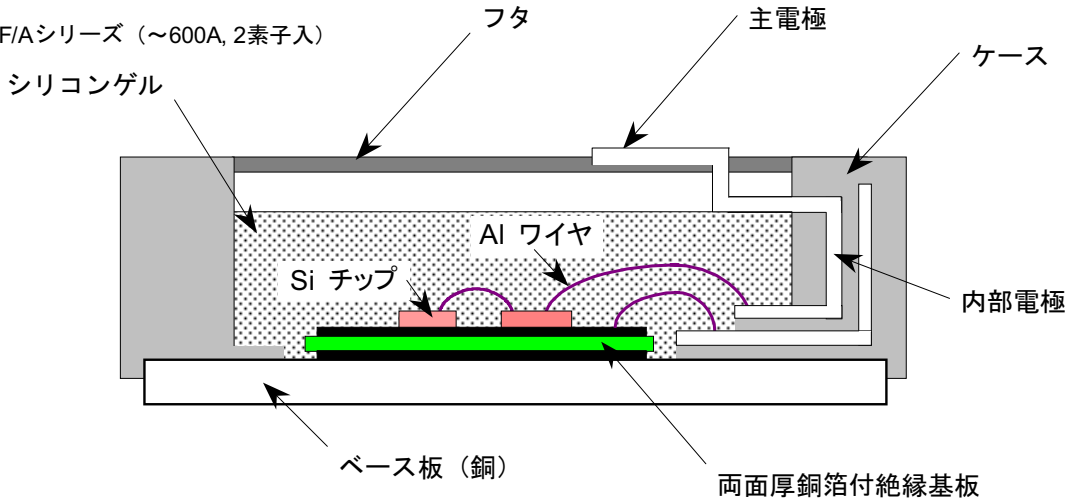
■AC440V 電源

適用 モータ定格 (kW)	インバータ用 IGBTモジュール			コンバータ用 ダイオード
	NF/Aシリーズ	Fシリーズ	Uシリーズ	
5.5	CM50TL/RL-24NF	CM50TU-24F	CM50TU-24H CM50DU-24H × 3	RM15TA-2H
7.5	CM50TL/RL-24NF	CM50TU-24F	CM50TU-24H CM50DU-24H × 3	RM20TA-2H
11	CM75TL/RL-24NF	CM75TU-24F	CM75TU-24H CM75DU-24H × 3	RM50TC-2H
15	CM75TL/RL-24NF	CM100TU-24F	CM100TU-24H CM100DU-24H × 3	RM30DZ-2H × 3
18.5	CM100DY-24A × 3	CM150DU-24F × 3	CM150DU-24H × 3	RM60DZ-2H × 3
22	CM100DY-24NF × 3 CM100DY-24A × 3 CM100TL/RL-24NF	CM150DU-24F × 3	CM150DU-24H × 3	RM60DZ-2H × 3 RM50TC-2H
30	CM150DY-24NF × 3 CM150DY-24A × 3 CM150TL/RL-24NF	CM200DU-24F × 3	CM200DU-24H × 3	RM60DZ-2H × 3
37	CM200DY-24NF × 3 CM200DY-24A × 3 CM200TL/RL-24NF	CM200DU-24F × 3	CM200DU-24H × 3	RM60DZ-2H × 3
45	CM200DY-24NF × 3 CM200DY-24A × 3 CM200TL/RL-24NF	CM300DU-24F × 3	CM300DU-24H × 3	RM100DZ-2H × 3
55	CM300DY-24NF × 3 CM300DY-24A × 3	CM300DU-24F × 3	CM300DU-24H × 3	RM150DZ-2H × 3
75-90	CM400DY-24NF × 3 CM400DY-24A × 3 CM400HA-24A × 6	CM400DU-24F × 3 CM400HU-24F × 6	CM400DU-24H × 3 CM400HU-24H × 6	RM150DZ-2H × 3
110	CM600DY-24NF × 3 CM600DY-24A × 3 CM600HA-24A × 6 CM600HB-24A × 6	CM600DU-24F × 3 CM600HU-24F × 6	CM600HU-24H × 6	RM250DZ-2H × 3

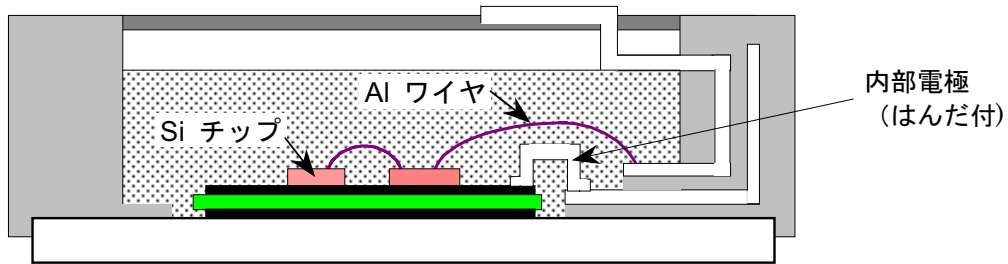
構造

構造

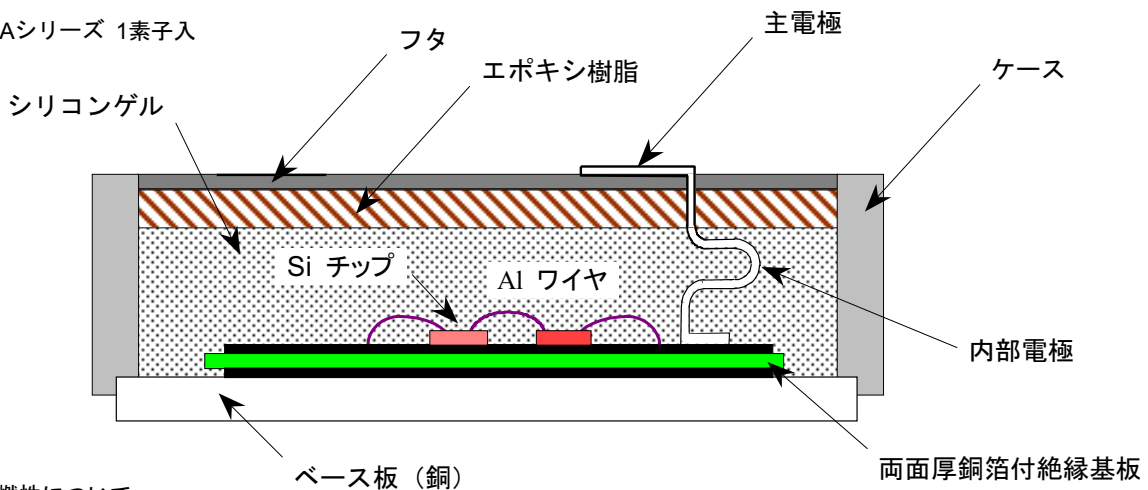
1. NF/Aシリーズ（～600A, 2素子入）



2. MPD（～600Aとの比較のためのイメージ図で実際の構造は異なります）



3. Aシリーズ 1素子入



難燃性について

IGBTモジュールに使用しておりますエポキシ樹脂は、UL 94V-0適合の難燃性を有し、自己消火性を有しておりますので、燃焼源を断れば延焼の危険性はありません。

シリコンゲルは可燃性で、UL94V-0には適合していません。引火点340°C、発火点450°Cで硬化後の絶縁破壊強度が10kV/mm以上の特性の製品を使用しています。また、自己消火性もありませんので、火災時は、粉末消火剤・二酸化炭素消火剤・泡消火剤などを使用して消火する必要があります。

その他のシリコンチップ、銅ベース板などには該当するULの難燃性基準はありません。

安全規格(UL)について

安全規格(UL)について

三菱パワーモジュールは、UL1557に対してUL認定を受けております。(File No.E80271, YellowCardNo.E80276)
認定機種(形名)につきましては、ULのホームページでご確認をお願いいたします。
なお、このページはNetscape4.7xxでは正確に表示されません。
その他の安全規格(TUV, VDE, CSAなど)についての認定は受けておりません。
欧州CEおよび中国CCCに関しては2006年7月現在でパワーモジュールが対象となる規制はありません。

1. 下記UL Webサイト(2006/7/6現在)の「Certifications」をクリックし、検索画面に表示されるUL File Number入力欄にイエローカード番号「E80276」を入力し、「SEARCH」ボタンをクリックします。
※ファイル番号は「E80271」ですが、ここで入力する番号はイエローカード番号"YelloCardNo"になります。
<http://www.ul.com/>

UL Underwriters Laboratories Inc. About UL | Contact Us

Go directly to a UL Service: Global Locations Search UL.com Search

Underwriters Laboratories
More global. More versatile. More responsive.

UL is the trusted source across the globe for product compliance. Benefiting a range of customers - from manufacturers and retailers to consumers and regulating bodies - we've tested products for public safety for more than a century.

And now, we can offer one of our most diverse portfolios of capabilities and certification marks. Our unique mix of local expertise in global markets and deep industry knowledge helps bring safer products to markets faster than ever before. [New to UL?](#)

INDUSTRY FEATURE
Wire and Cable:
UL evaluates wire and cable products under more than 70 different product categories

SERVICE FEATURE
CITS
Providing you with worldwide Supply Chain Services on a wide range of products.

If you have received E-mail claiming to be from UL Latvian operations ...

または、ブラウザのアドレスバーに <http://database.ul.com/cgi-bin/XYV/template/LISEXT/1FRAME/index.htm> を入力。

UL ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY Quick Guide Contact Us UL.com

BEGIN A BASIC SEARCH

To begin a search, please enter one or more search criteria in the parameters below.

Company Name

City

U.S. State

U.S. Zip Code

Country

Region

Postal Code (non-US)

UL Category Code

UL File Number

Keyword

ABOUT THE OCD

You can use the UL Online Certification Directory to:

- Verify a UL Listing or Classification
- Verify a UL Listed product use
- Verify a product safety standard

Learn more with the [QuickGuide to the OCD](#)

SPECIFIC SEARCHES

Select a specific search:

LINKS OF INTEREST

[Search OWAY in the Inspection Services Directory](#)

[ULC Online Directories](#)

[Notice of Disclaimer](#)

[Codes Related Directories](#)

[Index of Tradenames & Trademarks](#)

[Introduction: UL Listed and Classified Products](#)

[Introduction: UL Recognized Components](#)

[Introduction: Products Certified for Canada](#)

この欄に YellowCardNo を入力する

入力後このボタンをクリックする

安全規格(UL)について

または、アドレスバーに <http://database.ul.com/cgi-bin/XYV/template/LISEXT/1FRAME/gfilenbr.html> を入力しますと下記検索画面が表示されます。

 **ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY** [OCD Home](#) [Quick Guide](#) [Contact Us](#) [UL.com](#)

UL File Number (ex. E12345): ← この欄に YellowCardNoを入力する


The **UL File Number** is an alphanumeric designation assigned to a company upon successful completion of a product evaluation or company certification.

The UL File Number field is also used to search for:

- Design Number
- System Number
- Construction Number
- Assembly Number

入力後、このボタンをクリックする

2. 下記検索結果画面が表示されますので、Link to File欄にある「[QQQX2.E80276](#)」をクリックすると、認定品の一覧（次頁参照）が表示されます。

 **ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY** [OCD Home](#) [Quick Guide](#) [Contact Us](#) [UL.com](#)

Search results

Number of hits: 1 The maximum number of hits returned is 5000.		
You may choose to Refine Your Search .		
Company Name	Category Name	Link to File
MITSUBISHI ELECTRIC CORP SEMICONDUCTOR DIV	Power-switching Semiconductors - Component	QQQX2.E80276

この表示をクリックする

Model number information is not published for all product categories. If you require information about a specific model number, please contact [Customer Service](#) for further assistance.

安全規格(UL)について

3. 認定品一覧 (検索結果の一部)



ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY

[OCD Home](#) [Quick Guide](#) [Contact Us](#) [UL.com](#)

QQX2.E80276
Power-switching Semiconductors - Component

[Page Bottom](#)

Power-switching Semiconductors - Component

[See General Information for Power-switching Semiconductors - Component](#)

MITSUBISHI ELECTRIC CORP
SEMICONDUCTOR DIV
MITSUBISHI DENKI BLDG
MARUNOUCHI
TOKYO, 100-8310 JAPAN

E80276

Diodes, Type RM or SR, followed by 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400 or 500, followed by C, C1A, C1F, C1Z, C2Z, CA, CF, CZ, D2F, DA, DF, DZ, HA, HC, TA, TB, TC, TPM or UZ, followed by 2H, 5H, 6S, 10F, 12, 12F, 12S, 16, 16F, 20, 20F, 20S, 24, 24F, 24S, 40, H or M.

Types RM10TB-H, -TB-M, RM15TB-H, -TB-M, -TPM-2H, RM20TPM-2H, -TPM-24, -TPM-H, -TPM-M, RM30TB-H, -TB-M, -TPM-H, -TPM-M.

Power switching semi-conductors, Cat. Nos. BCR30GM; Types A, B, C.

Type CM, followed by 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, or 1000, followed by AD00 thru AD63, DY, E3Y, HA, LD, LDL, MD, MDL, MD1, MD1L, MD3 or MDC, followed by -12H, -24H, -28H or -28K.

Type CM, followed by 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, or 1000, 1200, followed by DK, DY, DY1, E3Y, HA, HA1, HB, HK, TF or TX, followed by -12, -12E, -12G, -12H, -12HE, -20, -24, -24E, -24G, -24H, -24J, -28 or -28H.

Type CM, followed by -10, 15, 25, 40, 50, 75, 100, 110, 150, 165, 200, 300, 400, 450, 600, 800, 900, 1000, 1200 or 1400, followed by BU, BU1, DU, DUM, DUR, DUS, DY, DY2, E2U, E2UA, E2Y, EC2U, E3U, E3UA, EC3U, E3Y, E3Y2, HA, HB, HU, HUA,

4. 形名の読み取り方

CM150DY-12NFの場合、「Power Switching Semi conductors,Cat.Nos.BCR30GM;TypesA,B,C」から空欄を除く6行目と9行目の間(四角で囲まれた枠内)の表示「Type CM followed by -10,15,20...or 24H」の中の, CM, 150, DY, -12NF(下線部)の組み合わせになります。

Power switching semi-conductors, Cat. Nos. BCR30GM; Types A, B, C.

Type CM, followed by 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, or 1000, followed by AD00 thru AD63, DY, E3Y, HA, LD, LDL, MD, MDL, MD1, MD1L, MD3 or MDC, followed by -12H, -24H, -28H or -28K.

Type CM, followed by 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, or 1000, 1200, followed by DK, DY, DY1, E3Y, HA, HA1, HB, HK, TF or TX, followed by -12, -12E, -12G, -12H, -12HE, -20, -24, -24E, -24G, -24H, -24J, -28 or -28H.

Type CM, followed by -10, 15, 25, 40, 50, 75, 100, 110, 150, 165, 200, 300, 400, 450, 600, 800, 900, 1000, 1200 or 1400, followed by BU, BU1, DU, DUM, DUR, DUS, DY, DY2, E2U, E2UA, E2Y, EC2U, E3U, E3UA, EC3U, E3Y, E3Y2, HA, HB, HU, HUA, HUE, HUS, RU, TJ, TJA, TU, YE4, YE2N, YE2P, YE4 or YE13, followed by -5F, -12, -12F, -12H, -12NF, -12NFA, -12NFB, -12NFH, -12NFL, -24, -24A, -24AL, -24D, -24F, -24NF, -24NFH or -24H.

Type FM, followed by 15, 20 or 30, followed by BF or TF, followed by -5, -6, -9, -9S, -10 or -10S.

Type FM, followed by 30, 50, 75 or 100, followed by DW, DY, E2Y, E3Y, HA or HY, followed by -1, -9, -9S, -10 or -10S.

Type CM, followed by 40, 50, 75, 100, 150 or 200, followed by RL, TL or YE13, followed by -12F, -12H, -12NF, -12NFB or -24NF.

Type FM, followed by 200, 400, 450 or 600, followed by TU, followed by -07A, -2A or -3A.


Type PM, followed by 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 or 800, followed by B, C, D, E, H, R or V, followed by AN, BS, EA, FE, HA, HB, HC, HS, KA, KF, KK, LA, LB, LCA, LF, LG, LS, MA, MC, NA, NC, NE, NJ, RA, RB, RS, SA, SAA, SB, SC, SD, SE, SEA, SF, SH, SJ, SK, TJ, TK, TM, VA, VAA, VD, ZF, 4LA, 4LB, 5LA, 5LB, 6LA or 6LB, followed by 060, 060-1, 060-3, 060-4, 060-5, 060-8, 060-9, 060-10, 060-12, 060-13, 060-16, 060-17, 060-21, 060-22, 060-39, 120, 120-1 or 120-2 or 120-18.

※組み合わせの中で派生する形名が全てUL認定済(および生産可能な)製品ではありませんのでご注意ください。
※更新の都合により更新遅れや認定品の記載漏れの場合があります。該当品が見つからない場合はお問い合わせください。
※イエローカード E80276 は、現在発行していません。

パワーモジュールを正しく安全に使用するために

パワーモジュールを正しく安全に使用するために

パワーモジュールは使用条件（電氣的・機械的ストレス、取扱いなど）によっては素子が破壊することがあります。当社のパワーモジュールを安全にご使用頂くため、次に示す注意事項を守り、正しくご使用ください。

	 注 意
運送・運搬方法	(1) 運送中は梱包箱を正しい向きに置いてください。逆さにしたり、立てかけたり不自然な力を加えると、電極端子が変形したり樹脂ケースが壊れる原因になります。 (2) 投げたり、落としたりすると素子が壊れる原因になります。 (3) 水に濡れると使用時の故障原因になります。降雨、降雪時の運搬には濡らさないように注意してください。
保管方法	本製品を保管する場所の温度及び湿度は、5~35°C、45~75%常湿常湿範囲内が望ましく、この温度、湿度から極度にかけ離れた環境では素子の性能や信頼性を低下させることがあります。
長期保管	本製品を長期（1年以上）に保管する場合は、除湿対策をしてください。なお、長期保管後、ご使用の際は、外観に傷、汚れ、錆などがないことを確認してください。
使用環境	直接、水や有機溶剤が直接付着する場所、腐蝕性ガスを発生する場所、また、爆発性ガス、粉塵などのあるところでの使用は重大な事故につながる可能性がありますので避けてください。
難燃性について	エポキシ充填樹脂及びケース材料にはUL規格の94-V0認定品を使用していますが、不燃性ではありません。
静電気対策	パワーモジュール製品のうち、IGBTモジュール（CMシリーズ）、及びMOSFETモジュール（FMシリーズ）などのMOSゲート構造を有する製品に対し、静電気による破壊を防止するために下記事項を守ってください。 (1) 静電気破壊に対する注意事項 人体や梱包材料に帯電した静電気やゲート・エミッタ間に、過大な電圧（±20V以上）が印加されると、素子が破壊することがあります。静電気対策の基本は、静電気の発生をできるだけ抑えることと、帯電した電荷をすばやく逃がすことが重要です。 ① 運搬、保存に静電気を帯びやすい容器は使用しないでください。 ② モジュールを使用する直前まで、必ず導電スポンジなどでゲート・エミッタ間を短絡してください。また、素手で端子間を絶対に触らないようにしてください。 ③ 組立時（導電スポンジなどを取外した後）は、使用機器や人体を接地して作業を行ってください。また、作業台表面及び作業台周囲の床は導電性マットを敷き、接地することを推奨します。 ④ 素子を実装したプリント基板上でゲート・エミッタ間が開放となっていると、プリント基板に帯電した静電気により破壊することがありますのでご注意ください。 ⑤ 半田ゴテを使用する場合は、コテ先をアースしてください。 (2)ゲート・エミッタ間開放時の注意事項 ① ゲート・エミッタ間を開放した状態で、コレクタ・エミッタ間に電圧を印加しないでください ② 素子を取外す場合、ゲート・エミッタ間を短絡してから取外してください。

パワーモジュールを正しく安全に使用するために

⚠ 注意

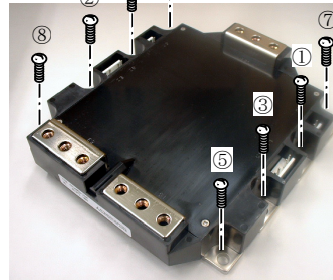
取付け方法

モジュールをヒートシンクなどに取付ける場合、極端な片締めを行いますと、モジュール内の絶縁用セラミック基板やシリコンチップに応力が加わり素子の破壊又は劣化を招くことになります。締め付け順序例を図1に示します。



(a) 2点締めモジュール
仮締め①→②
本締め②→①

(b) 4点締めモジュール
仮締め①→②→③→④
本締め④→③→②→①



(c) 8点締めモジュール
仮締め①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧
本締め①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧

図1. 取付けねじの締め付け順序

* : 仮締め締め付けトルクは最大定格の20~30%を目安に設定してください。

放熱効果を最大限得るためには、その接触面積をできるだけ大きくし接触熱抵抗を最少にする必要があります。

ヒートシンクの平坦度（平面度／反り／凹凸）は、モジュール取付け面（図2参照）において、 $-100\mu\text{m} \sim +100\mu\text{m}$ としてください。また、表面仕上げRz 12以内としてください。モジュールとヒートシンクとの接触面には熱伝導性グリース（以下グリースと称す）を $100\mu\text{m}$ 程度（ $200\mu\text{m}$ を越えないよう）均一になるように塗布して下さい。（Aシリーズ1素子入については、ヒートシンクの平坦度は、長さ100mmに対して $\pm 20\mu\text{m}$ 以内、表面粗さ $10\mu\text{m}$ 以内、グリースはモジュールベース板またはヒートシンクに $50 \sim 100\mu\text{m}$ 程度、均一になるように塗布してください）

ヒートシンクとの接触面にグリースを塗布しますと接触部の腐蝕防止にも役立ちます。ただし、塗布するグリースは、使用動作温度範囲内で変質せず、経年変化のないものをご使用ください。

締め付けにはトルクレンチを使用し所定のトルクまで締めます。締め付けトルクが大きすぎると、前記の片締め同様素子の破壊または、劣化を招く危険性があります。

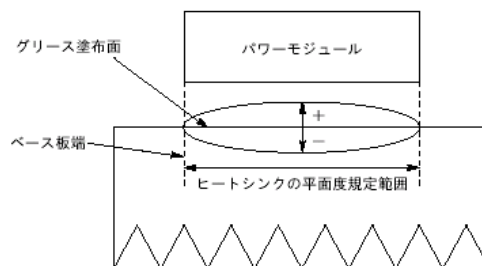


図2. ヒートシンクの平面度

パワー素子の実装配置

パワー素子の実装配置

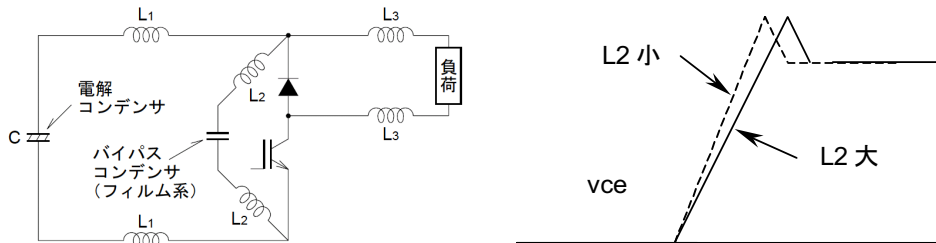
1. コンデンサの実装配置

コンデンサからスイッチング素子を通してコンデンサへと戻る閉回路には、スイッチング時に高周波電流が流れ、高い di/dt が発生します。この回路の配線が長い場合、配線インダクタンスによる $-L \cdot di/dt$ 電圧は、ターンオフサージ電圧として素子に印加され、これが耐電圧を越えれば素子は破壊します。

これを防ぐ方法には下記のようなものがあり、これらを併用するのが一般的です。

- ①電解コンデンサと素子の配置を近づけ、かつ往復線路を近づけることにより、インダクタンスを減少させる。
- ②素子の近くに、フィルム系のコンデンサを接続し、高周波電流をバイパスさせる。
- ③電解コンデンサそのものを、低インピーダンスタイプ（スイッチング用）とする。
- ④素子にスナバ回路をつけて、サージ電圧を吸収する。
- ⑤素子のスイッチング速度を遅くして、 di/dt を低下させる。

このうち、IGBTモジュールに最も効果があるのは、②と⑤です。これはIGBTモジュールの場合動作が高速なため、スナバ回路自体の配線によるインダクタンスが無視できず、複雑な回路構成が難しくなるためです。また、①は非常に効果がありますが、現状の実装技術では限度があるため、配線をできるだけ短くしておき、抑えきれないサージ電圧を、②、④、⑤を用いて抑制するのが一般的です。ただし、②により発振を生じるときには、②のコンデンサをスナバ回路（RC、RCDi）とすることが効果的な場合があります。



- L₁: 電解コンデンサとIGBTモジュールを接続する配線のインダクタンス。往復線路なので、配線をより短く、間隔を狭く、配線の断面の周囲長を長くする程、小さくなります。
- L₂: バイパスコンデンサのリード線のインダクタンス。このインダクタンスが大きいと、バイパスしなくなります。また、このインダクタンスが小さくなるとターンオフ時の dv/dt はより急峻になります。(L₂ ↓ ∝ dv/dt ↑)
- L₃: 負荷をつなぐ配線のインダクタンス。

2. 取付け上の注意事項

モジュールをヒートシンクなどに取付ける場合、極端な片締めを行いますと、モジュール内の絶縁用セラミック基板やシリコンチップに応力が加わり素子の破損又は劣化を招くことにもなります。

また、放熱効果を最大限得るためには、その接触面積をできるだけ大きくし接触熱抵抗を最小にする必要があります。ヒートシンクは表面仕上げRz 12で反りが100 μ m以内のものをご使用ください（Aシリーズ1素子入については、表面粗さ10 μ m以内、反りは、長さ100mmに対して20 μ m以内が推奨です）。

ヒートシンクの接触面にグリースを塗布しますと接触部の腐蝕防止にも役立ちます。ただし塗布するグリースは使用動作温度範囲内で変質せず、経年変化のないものを選ぶことが重要です。

グリースはベース全面に薄く均一に塗布してください。ベース板及びヒートシンクの精度を考慮し、100 μ m（200 μ mを越えないよう）が適切と考えます（Aシリーズ1素子入については50~100 μ m程度）。

締付けにはトルクレンチを使用し所定のトルクまで締めます。締付けトルクが大きすぎると、前記の片締め同様素子の破損又は劣化を招く危険性があります。取付けは可能な限り手締めにて行ってください。電動ドライバなどにて締付ける場合には、締付ける前にモジュールをヒートシンクに押付けるなどして余分なグリースを押し出しておくと共に、締付け速度を十分に落とすか、粘性の低いグリースを使用してください。粘度の高いグリースが多量に挟まっている状態で高速に締付けますと、モジュールが変形し、破損することがあります。

※ねじ締付け順序など詳細につきましては、「パワーモジュールを正しく安全に使用するために」の「取付け方法」を参照

注) データシートに記載の接触熱抵抗は参考値です。グリースの種類、塗布量によって変わりますので、実際に使用するグリース及びヒートシンクでご確認ください。カタログ記載の接触熱抵抗標準値は信越化学工業株式会社G746使用時のものです。（G746は信越化学工業株式会社発行のカタログ「放熱用シリコン(2004/10 Web版)」には未掲載です。

同カタログ掲載のG747を使用した場合も標準値には大きな影響はありません

パワー素子の実装配置

注意：取り付けねじは従来より、お客様で準備いただくものとさせていただいておりますが、主端子ねじにつきましても、6/7素子入およびMPDについては添付を中止いたしております。
《Hシリーズ》などにも添付しております、ねじの種類とお問い合わせ先（例）は以下のとおりです。

サイズ	種類	お問い合わせ先（例）	(2004/11/10現在)
M4×8/10	座金組込十字穴付ナベ小ねじ	東洋物産株式会社	http://www.tobutsu.co.jp/
M5×12	座金組込十字穴付六角ボルト	エフシーテック株式会社	052-991-7311
M6×12/14	座金組込十字穴付六角ボルト		
M8×16	座金組込十字穴付六角ボルト		

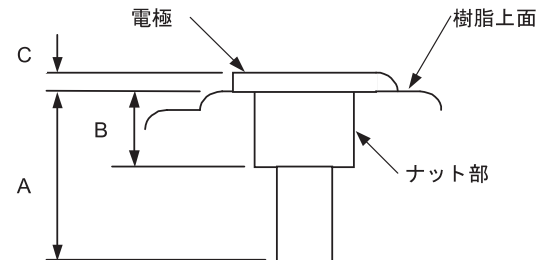
□モジュール添付端子ねじ（M5～M8 六角ボルト：JIS B 1187 準拠品、材質：鉄）

形名	サイズ	種類
CM150DY-12NF, CM200DY-12NF, CM300DY-12NF CM100DY-24NF, CM150DY-24NF CM100DY-24A, CM150DY-24A, CM200DY-24A	M5×12 (主端子)	座金組込十字穴付六角ボルト
CM400DY-12NF/CM600DY-12NF CM200DY-24NF, CM300DY-24NF, CM400DY-24NF CM300DY-24A, CM400DY-24A, CM600DY-24A	M6×12 (主端子)	座金組込十字穴付六角ボルト
CM400HA-24A, CM600HA-24A	M6×12 (主端子)	座金組込十字穴付六角ボルト
	M4×10 (信号端子)	座金組込十字穴付ナベ小ねじ
CM600HB-24A	M8×16 (主端子)	座金組込十字穴付六角ボルト
	M4×10 (信号端子)	座金組込十字穴付ナベ小ねじ
CM600DU-24NF	M8×16 (主端子)	座金組込十字穴付六角ボルト
	M4×8 (信号端子)	座金組込十字穴付ナベ小ねじ

2005/12 以降の生産ロットより内蔵ナット及び添付ネジは全て三価クロメート処理品となります。

注意：添付ねじ以外の仕様のねじを使用される場合、ねじ長さにご注意ください。

必要以上に長いねじを使用されますと、端子部の樹脂を突破りねじ頭がモジュール内のゲルやアルミワイヤに達し素子破壊の原因となります。接続用電極の厚みと下記寸法を参照の上、最適な長さのねじをご使用願います。



端子ねじ穴深さ・電極厚（単位mm、公差±0.3mm）

V _{CES} (V)	形名	ねじとサイズ		A	B	C	最小有効深さ
		端子	サイズ				
600	CM150DY-12NF, CM200DY-12NF, CM300DY-12NF	主端子	M5	12.5	4.2	1	13.2
1200	CM100DY-24NF, CM150DY-24NF CM100DY-24A, CM150DY-24A, CM200DY-24A						
600	CM400DY-12NF	主端子	M6	13.7	5.2	1	14.4
1200	CM200DY-24NF, CM300DY-24A						
600	CM600DY-12NF	主端子	M6	12	5.3	1	12.7
1200	CM300DY-24NF, CM400DY-24NF, CM400DY-24A, CM600DY-24A						
1200	CM600DU-24NF	主端子	M8	11	7.3	1.6	12.3
		信号端子	M4	6.2	3.2	0.5	6.4
600	CM75TL/RL-12NF, CM100TL/RL-12NF, CM150TL/RL-12NF	主端子	M5	12	4.2	1	12.7
1200	CM50TL/RL-24NF, CM75TL/RL-24NF, CM100TL/RL-24NF						
600	CM200TL/RL-12NF	主端子	M5	15	4.2	1	15.7
1200	CM150TL/RL-24NF, CM200TL/RL-24NF						
1200	CM400HA-24A, CM600HA-24A	主端子	M6	11.5	5	1	12.2
		信号端子	M4	8.2	3.2	0.8	8.7
1200	CM600HB-24A	主端子	M8	12.4	7	1	13.1
		信号端子	M4	8.2	3.5	0.8	8.7
1200	CM900DU-24NF, CM1400DU-24NF	主端子	M6	15	5.2	1.2	16.3

※寸法Cに電極の浮きは含みません。

最小有効深さの計算式CM600DU-24NFでの最小有効深さの算出式は以下のとおりとなります。

主端子 A-公差+C=11-0.3+1.6=12.3mm / 信号端子 A-公差+C=6.2-0.3+0.5=6.4mm

パワー素子の実装配置

3. 熱抵抗の考え方

モジュールは、接合・ケース（ベース板）間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ とケース・フィン（ヒートシンクまたは放熱フィン）間の接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ を規定しています。熱抵抗の基準点（ケース温度）は、従来、ベース板の側面としていましたが、欧州規格の制定でチップ直下に変更となっています。各製品のチップ配置は、表3-1～表3-8をご参照願います。

TrはIGBTチップ、DiはFWDiチップ及びブレーキ部クランプDiの中心位置を示します。

2素子入の場合、Tr1/Di1は上アーム、Tr2/Di2は下アームを示します。

表3-1. 600V 2素子入

表3-2. 600V 6素子入

表3-3. 600V 7素子入

表3-4. 1200V 2素子入

表3-5. 1200V 6素子入

表3-6. 1200V 7素子入

表3-7. 1200V 1素子入

表3-8. MPD

6/7素子入と24Aシリーズについては、この基準点で熱抵抗を規程しておりますが、12NFおよび24NFシリーズの2素子入は、Hシリーズとの互換性を考慮し併記となっております。チップ直下の熱抵抗は下表をご参照願います。

□2素子入モジュールのチップ直下基準での熱抵抗

形名	最大値		標準値	形名	最大値		標準値
	IGBT部	FWDi部	接触		IGBT部	FWDi部	接触
CM150DY-12NF	0.16	0.29	0.022	CM100DY-24NF	0.13	0.23	0.022
CM200DY-12NF	0.13	0.22	0.022	CM150DY-24NF	0.093	0.17	0.022
CM300DY-12NF	0.093	0.16	0.022	CM200DY-24NF	0.066	0.12	0.02
CM400DY-12NF	0.066	0.11	0.020	CM300DY-24NF	0.046	0.085	0.02
CM600DY-12NF	0.046	0.078	0.018	CM400DY-24NF	0.034	0.062	0.018
—	—	—	—	CM600DU-24NF	0.023	0.042	0.015

※接触熱抵抗の標準値は、信越化学工業株式会社製"G-746"を使用した場合の値。

モジュールとヒートシンクとの接触面に熱伝導率 $0.92\text{W/m}\cdot\text{°C}$ の熱伝導性グリースを $100\mu\text{m}$ （ $200\mu\text{m}$ を越えないよう、Aシリーズ1素子入については、 $50\sim 100\mu\text{m}$ ）程度均一に塗布し、規定のねじサイズ・締付けトルク強度で締付けます。そして、図に示します位置に熱電対を付け、ベース板およびヒートシンク温度を測定します。

・注意事項

※使用するヒートシンクの材質、面積、厚みによりヒートシンクの熱抵抗 $R_{th(f-a)}$ は変ることがあります。同一材質のヒートシンクでは、面積が小さいほど、厚みが薄くなるほど熱抵抗が大きくなります。

※熱伝導性グリースの種類、塗布量により接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ は変ることがあります。

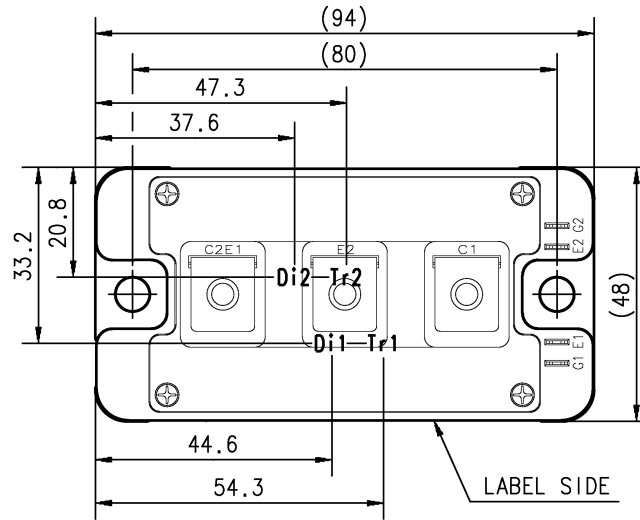
※水冷について：一般産業用パワーモジュールは、自冷および空冷ヒートシンクを用いた冷却システムでの使用を前提としております。水冷ヒートシンクを用いますと、熱の拡がりの性質上、熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ および接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ が大幅に変ることがあります。

※液冷について：一般産業用パワーモジュールのパッケージは基本的に気密構造ではありませんので、液体はモジュール内部に容易に浸入可能です。パッケージ素材、半導体チップ共、使用しているシリコンゲル以外のものとの長期接触を想定して設計していません。よって、IGBTモジュールをシリコンオイルなどに浸漬した場合については、特性や信頼性を保証できません。

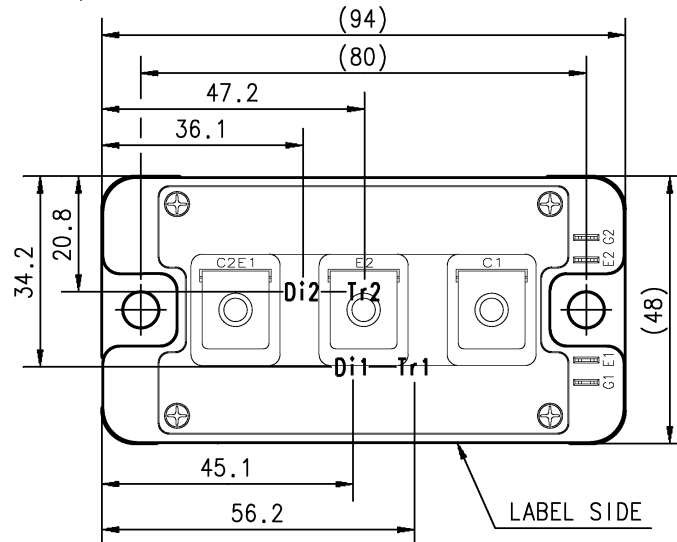
パワー素子の実装配置

表3-1. 600Vシリーズ 2素子入

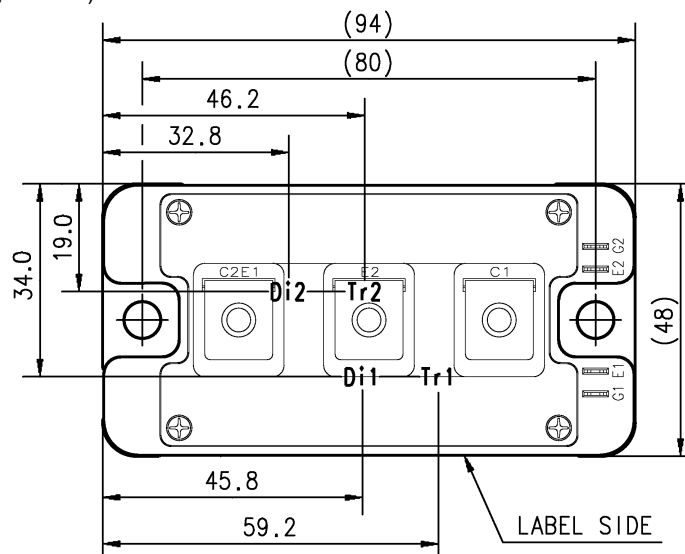
CM150DY-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



CM200DY-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

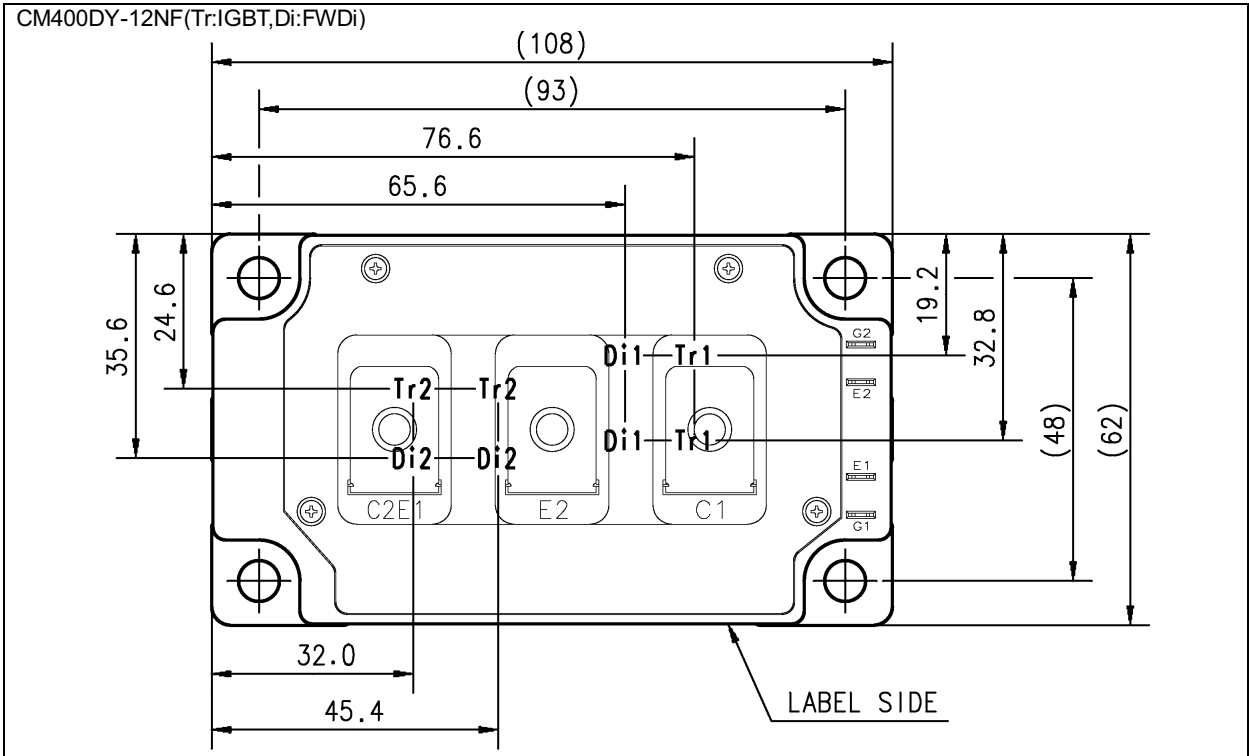


CM300DY-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

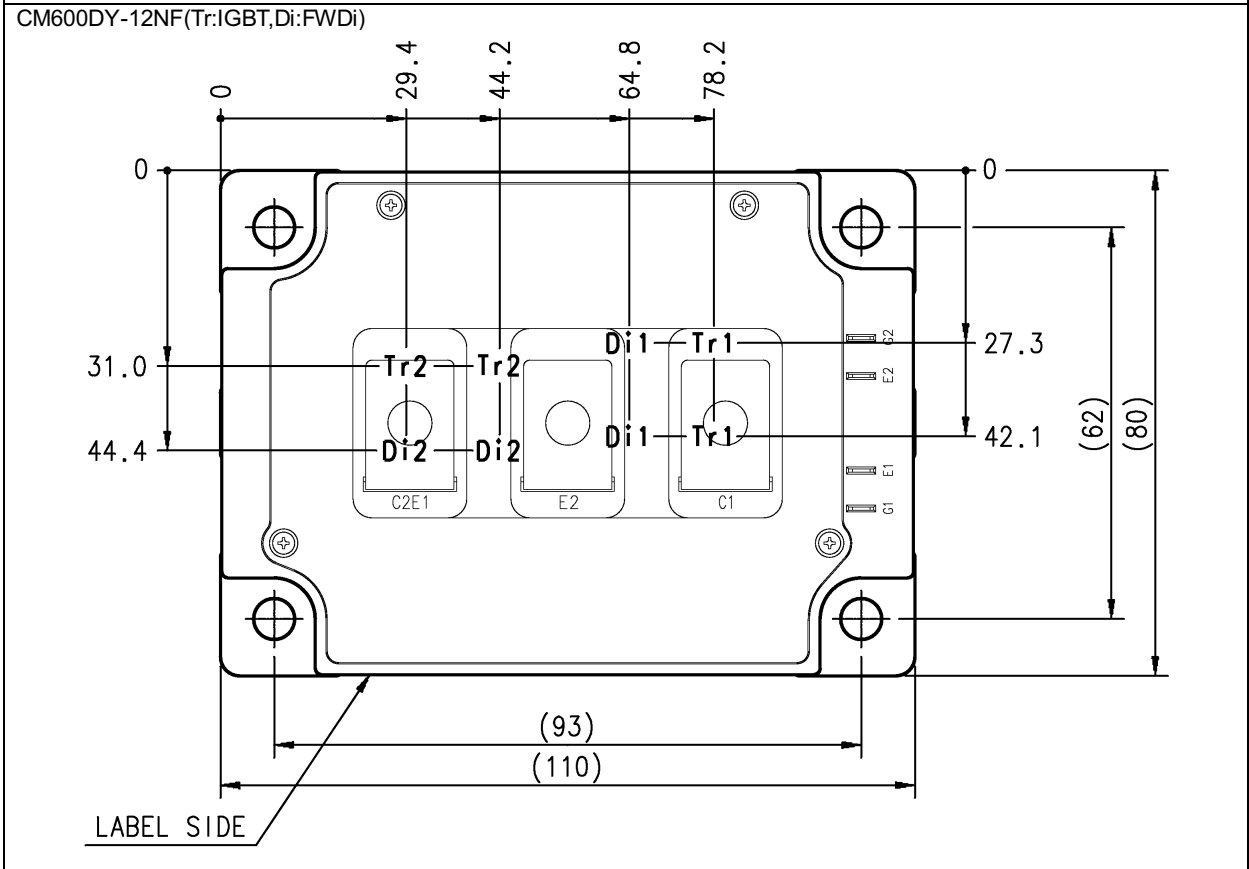


パワー素子の実装配置

表3-1 (続き) 600Vシリーズ 2素子入
CM400DY-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



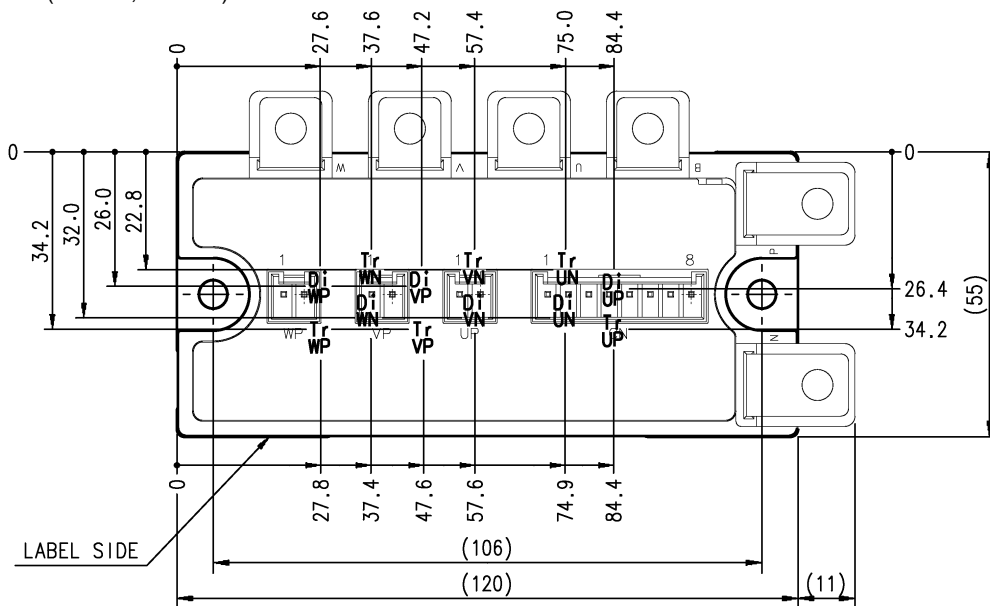
CM600DY-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



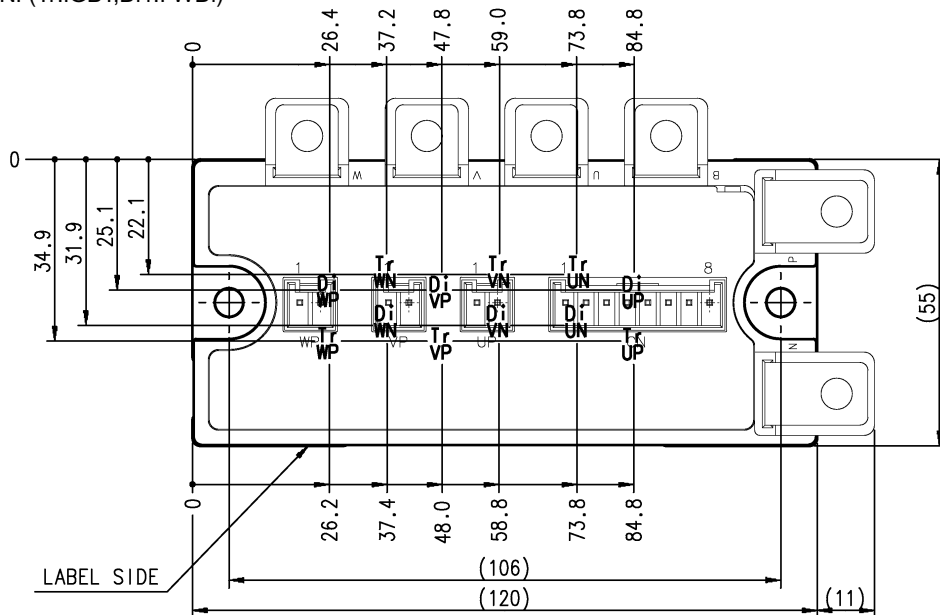
パワー素子の実装配置

表 3-2. 600V シリーズ 6 素子入

CM75TL-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

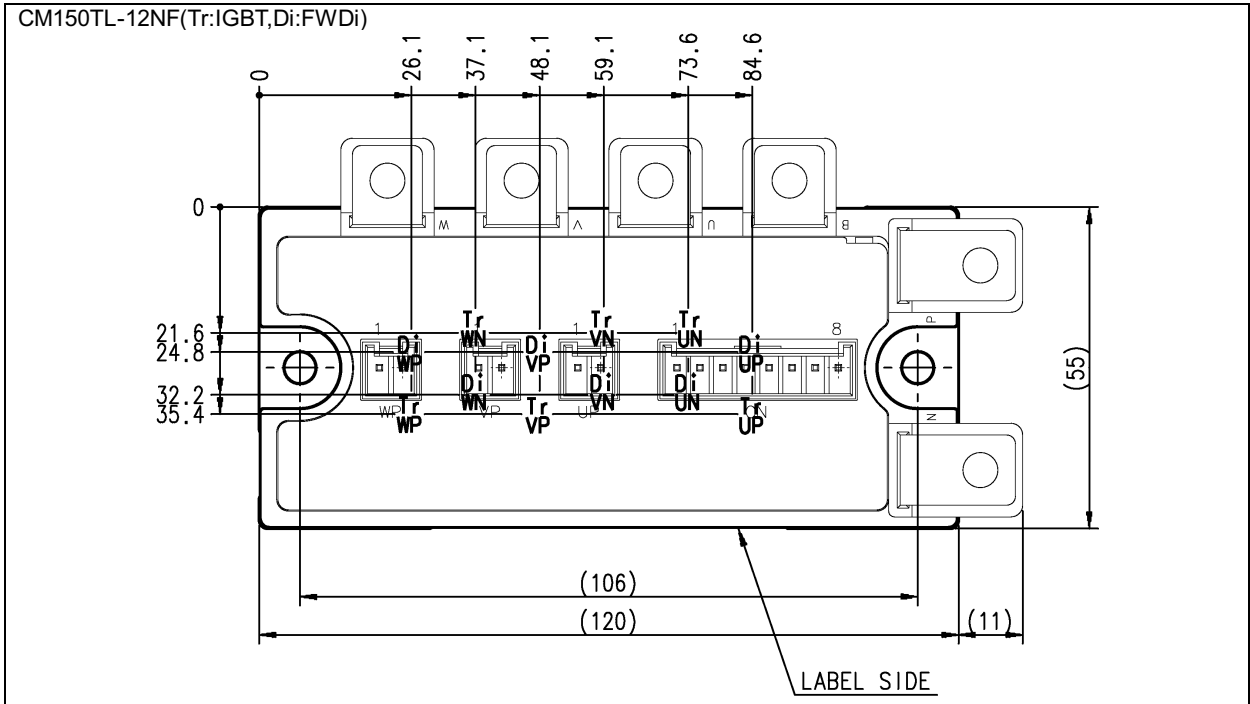


CM100TL-12NF(Tr:IGBT,Di1:FWDi)

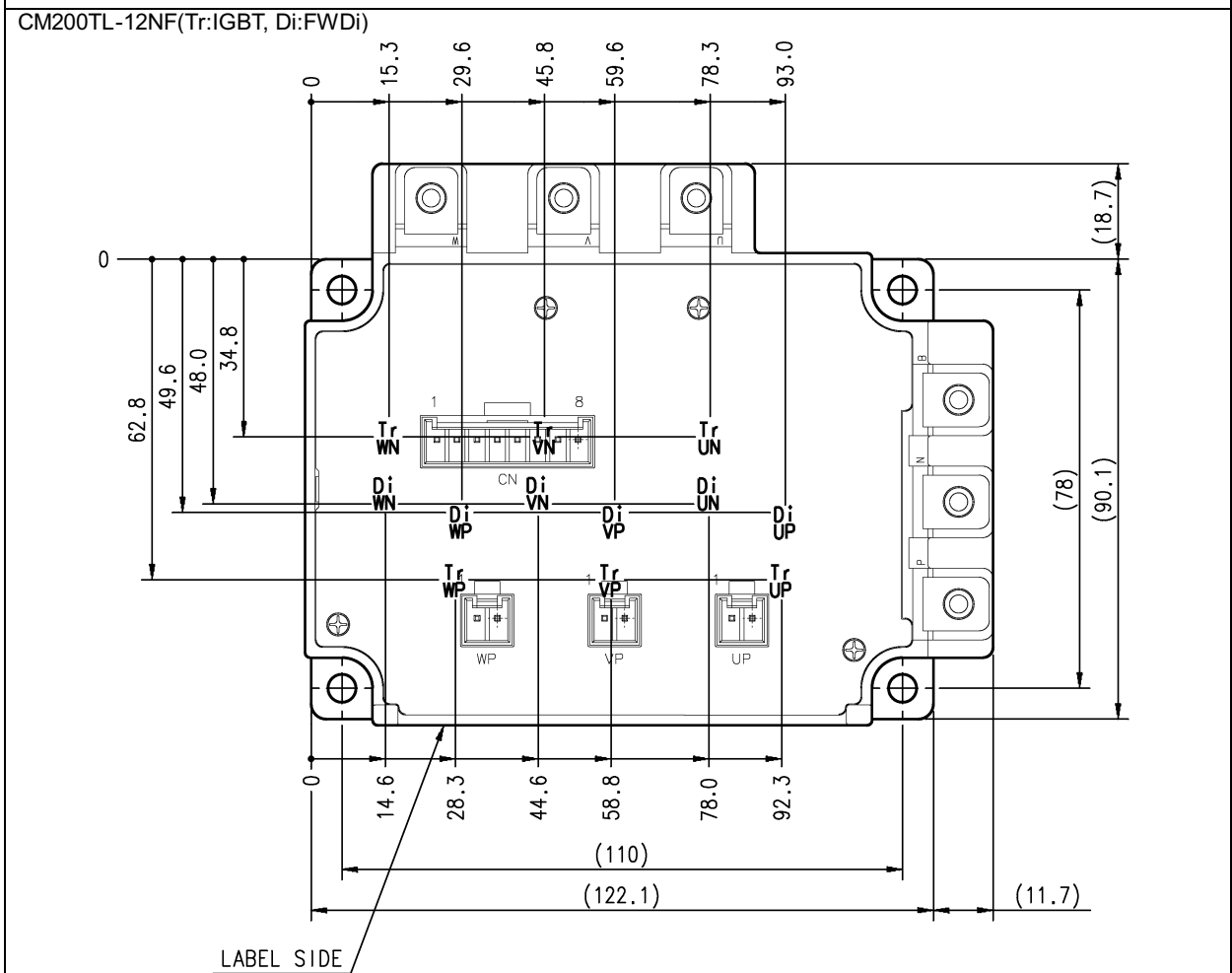


パワー素子の実装配置

表3-2 (続き) 600Vシリーズ 6素子入
CM150TL-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

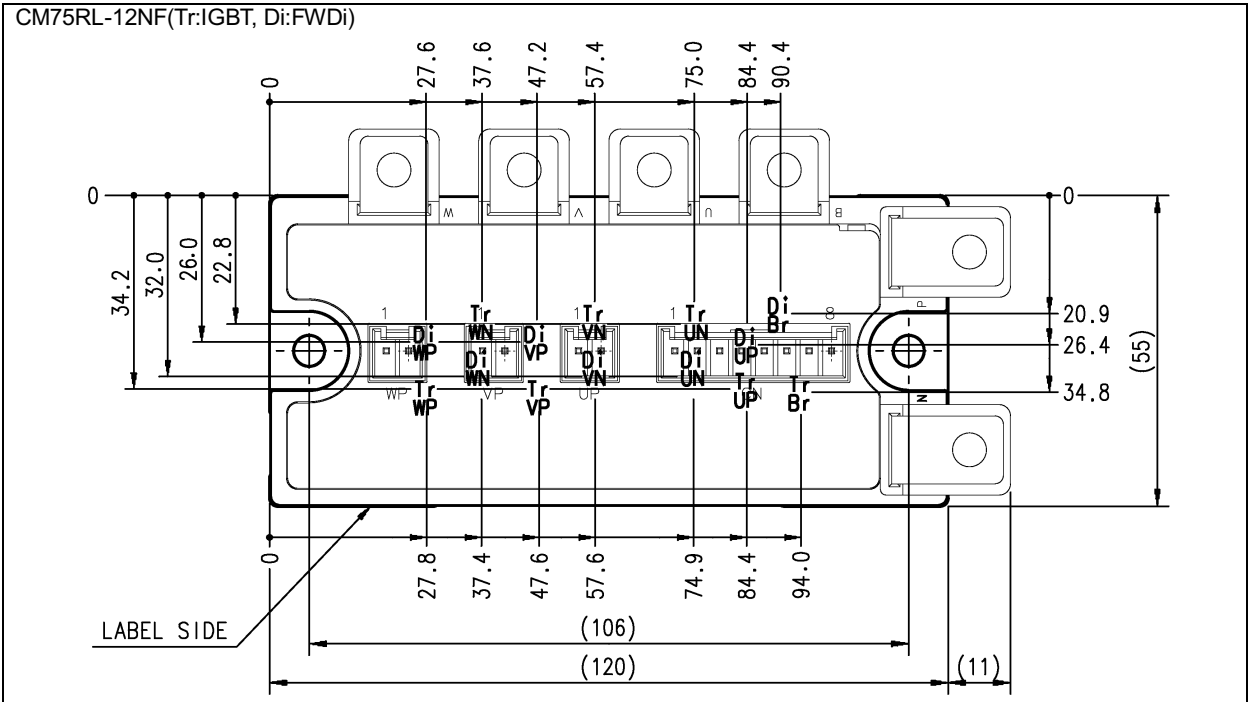


CM200TL-12NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)

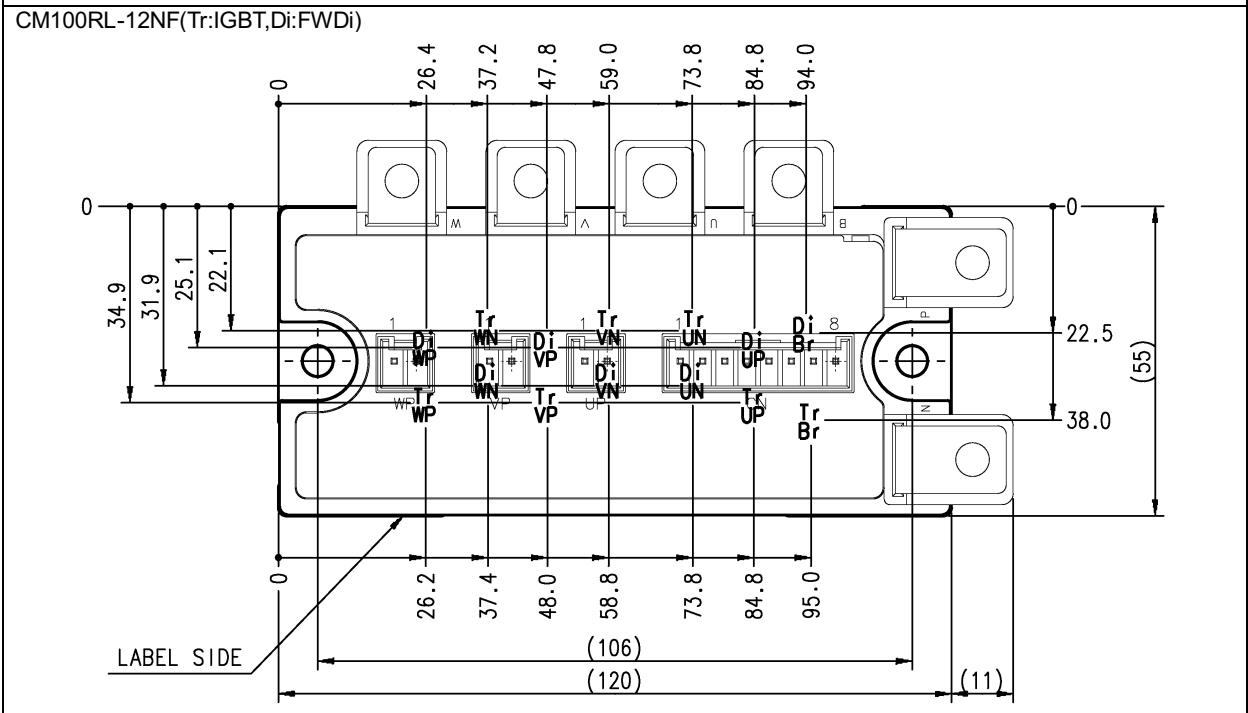


パワー素子の実装配置

表 3-3. 600V シリーズ 7 素子入
CM75RL-12NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



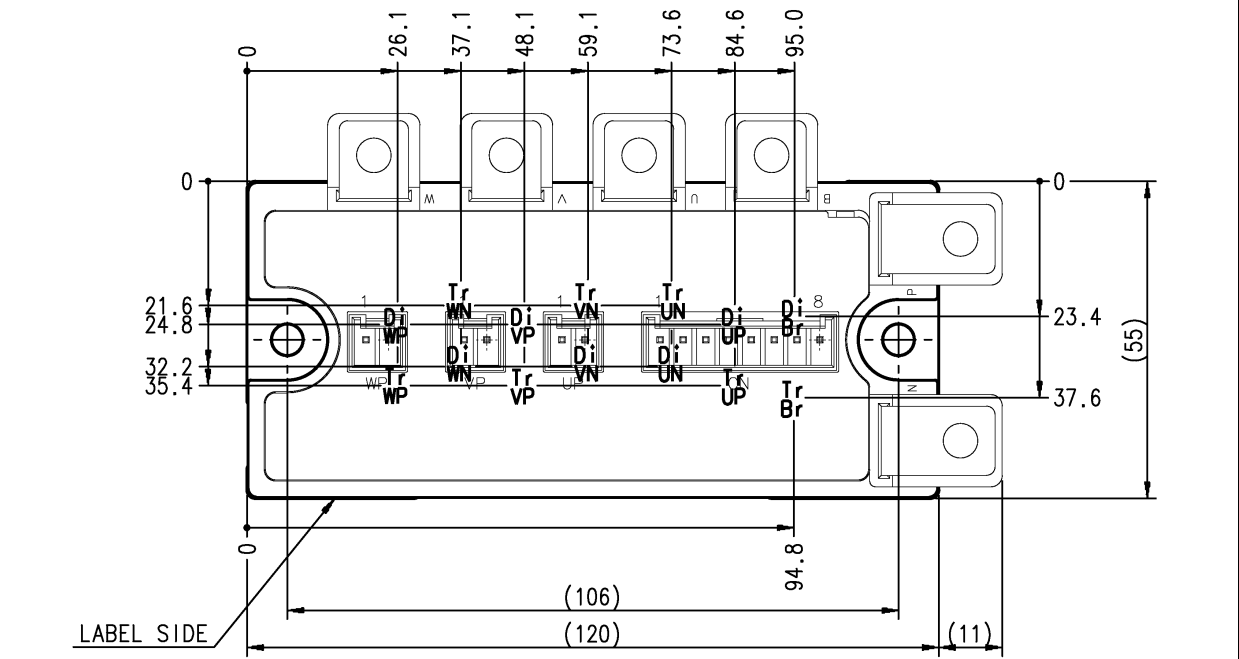
CM100RL-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



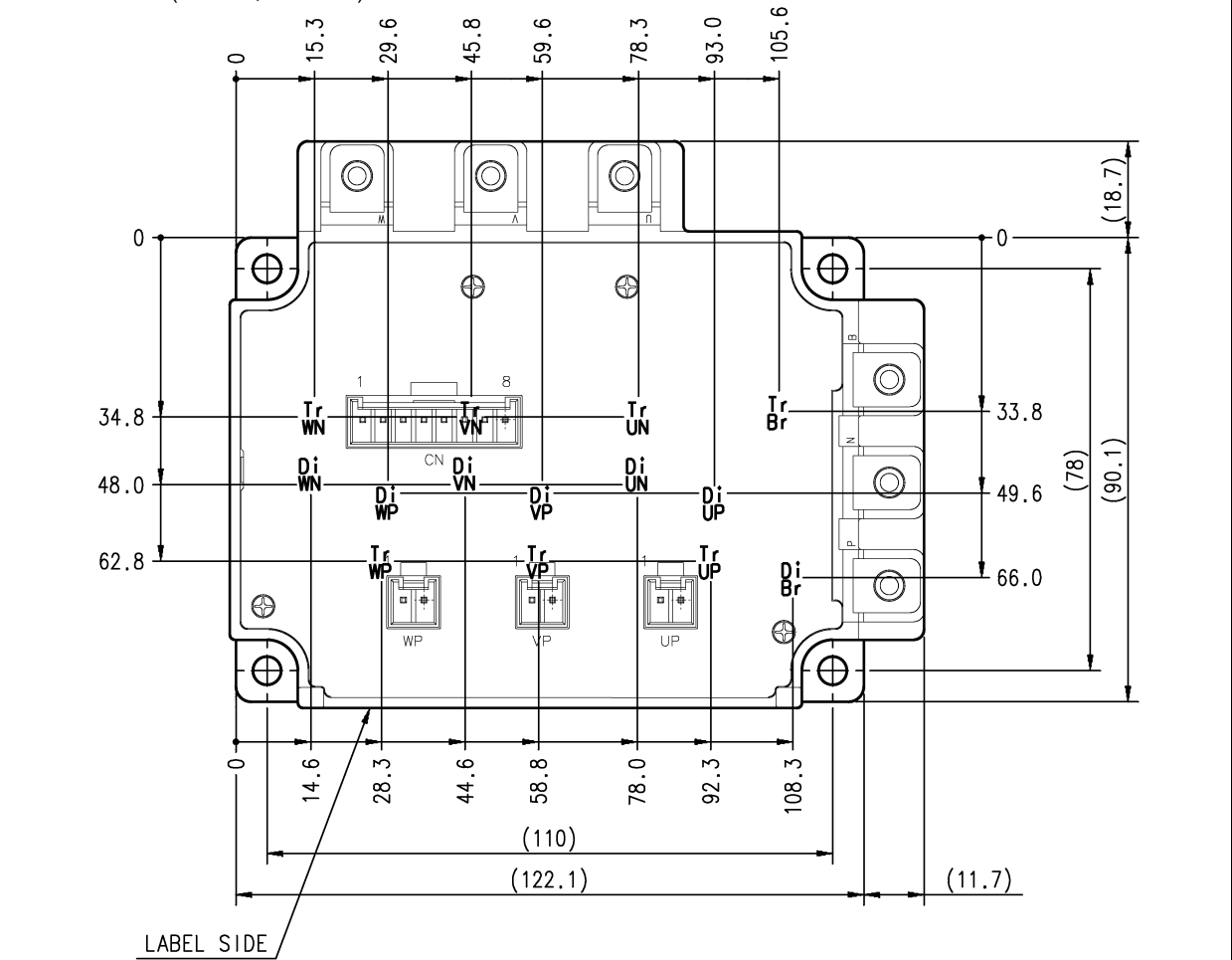
パワー素子の実装配置

表3-3 (続き) 600Vシリーズ 7素子入

CM150RL-12NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

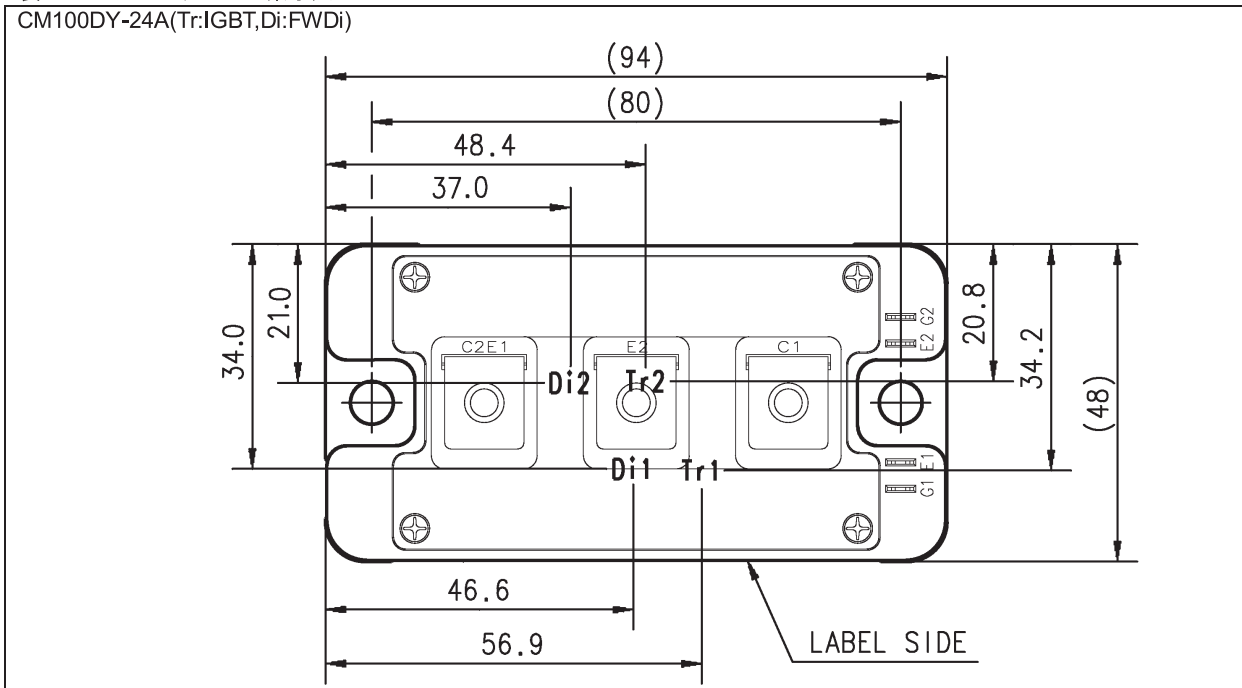


CM200RL-12NF(Tr:IGBT,Di1:FWDi)

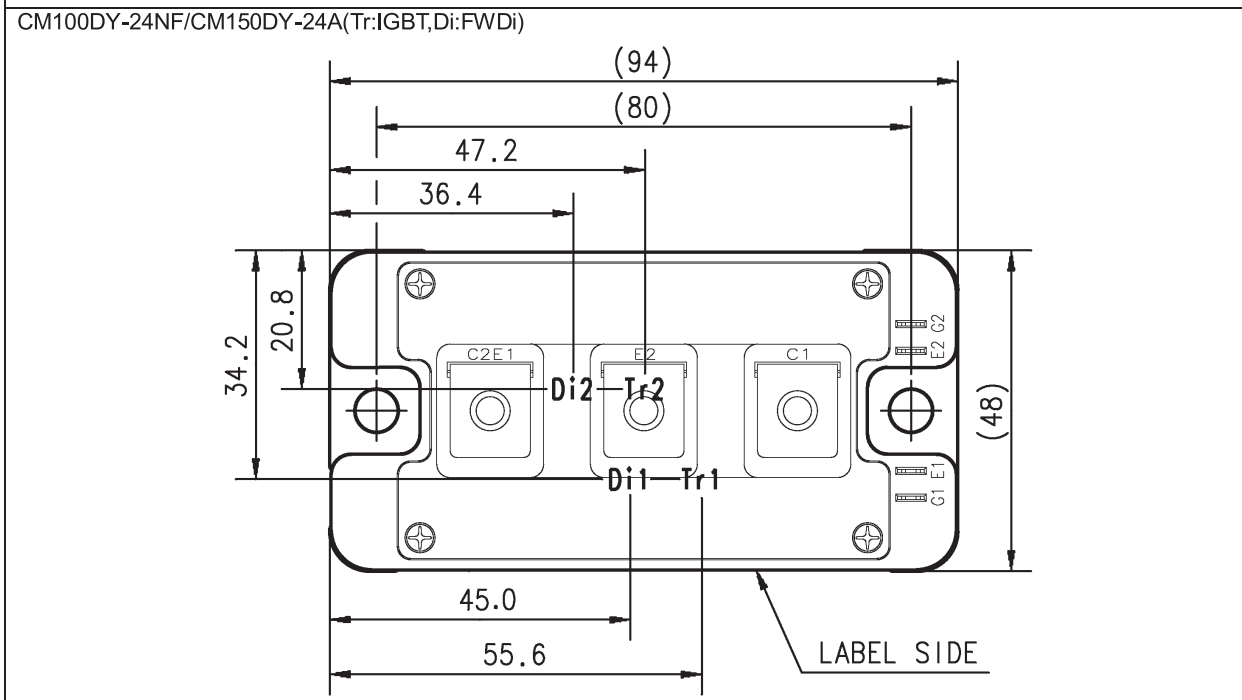


パワー素子の実装配置

表3-4. 1200Vシリーズ 2素子入
CM100DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)



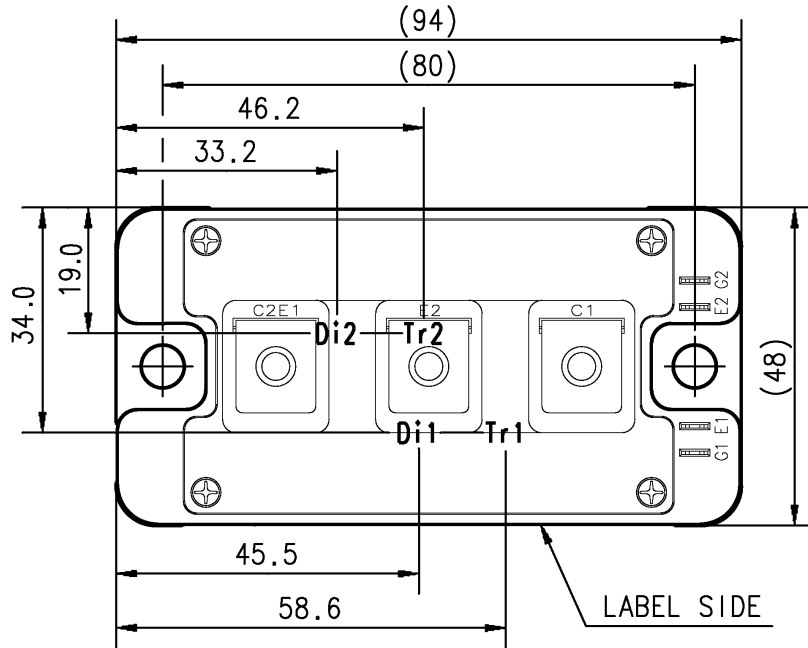
CM100DY-24NF/CM150DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)



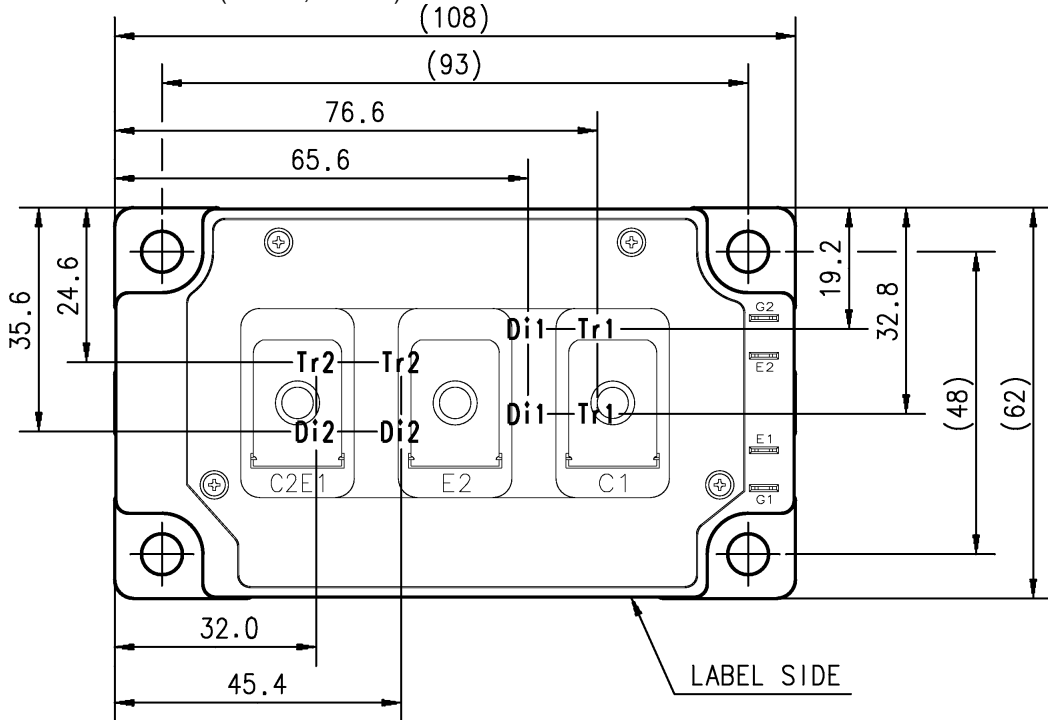
パワー素子の実装配置

表3-4 (続き) 1200Vシリーズ 2素子入

CM150DY-24NF/CM200DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)



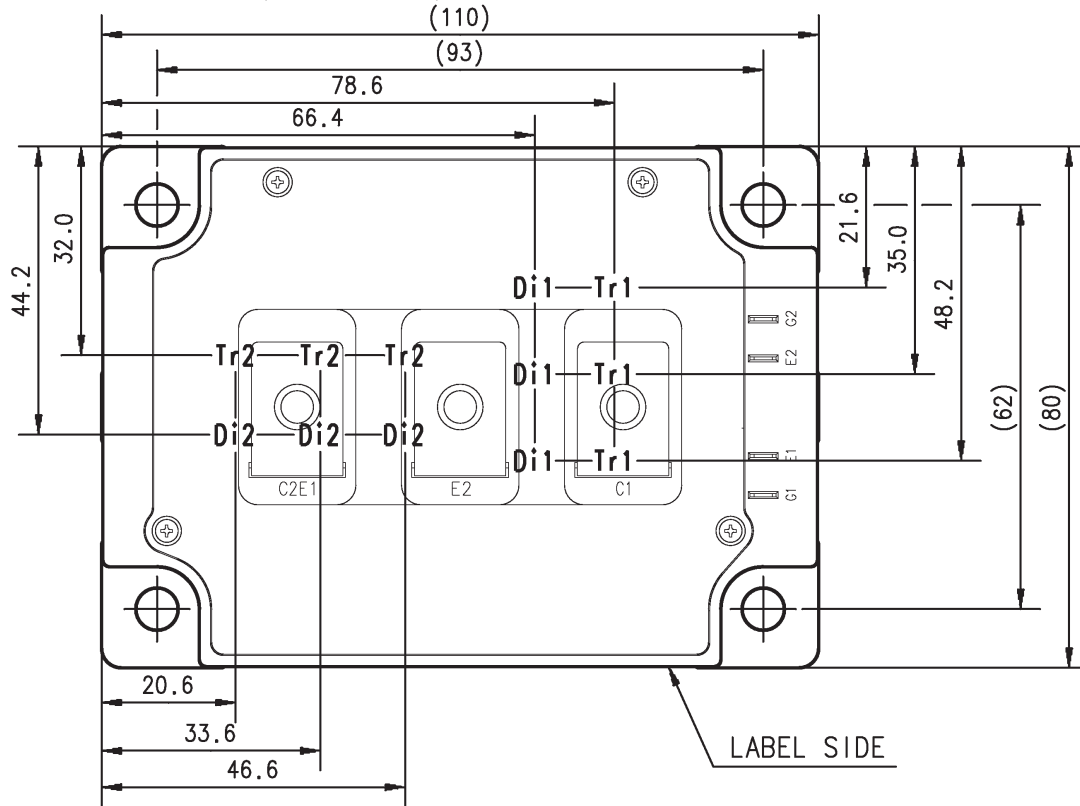
CM200DY-24NF/CM300DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)



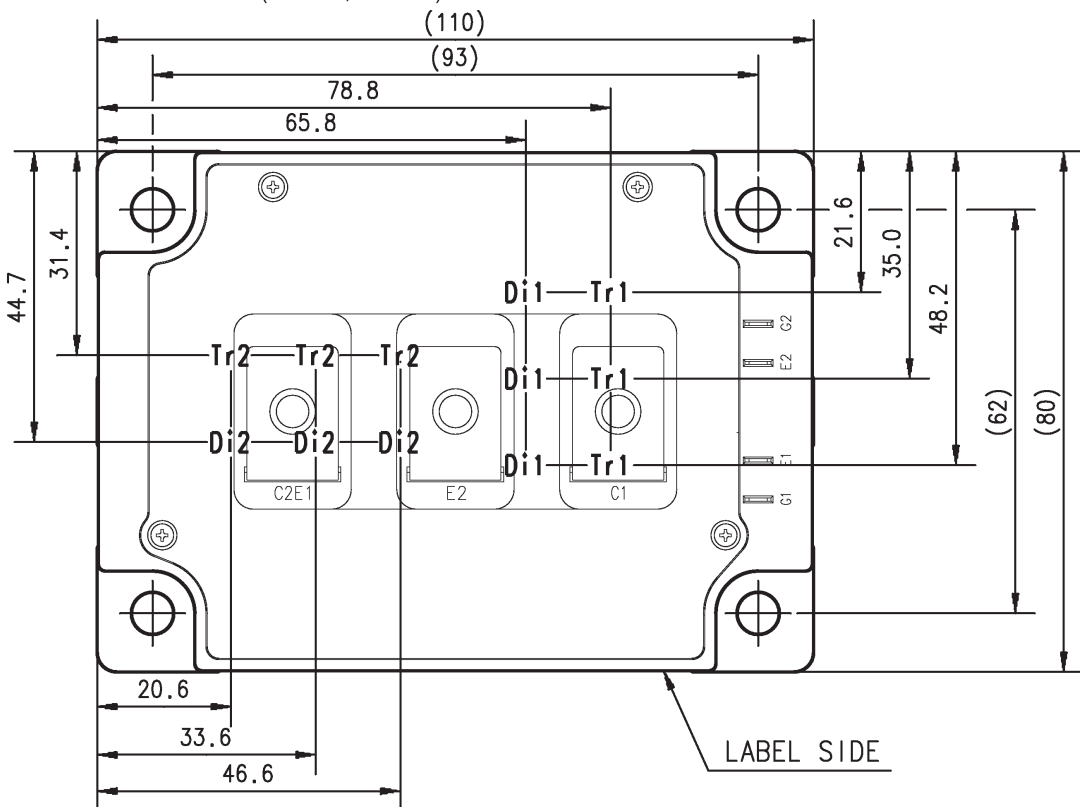
パワー素子の実装配置

表3-4 (続き) 1200Vシリーズ 2素子入

CM300DY-24NF/CM400DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)

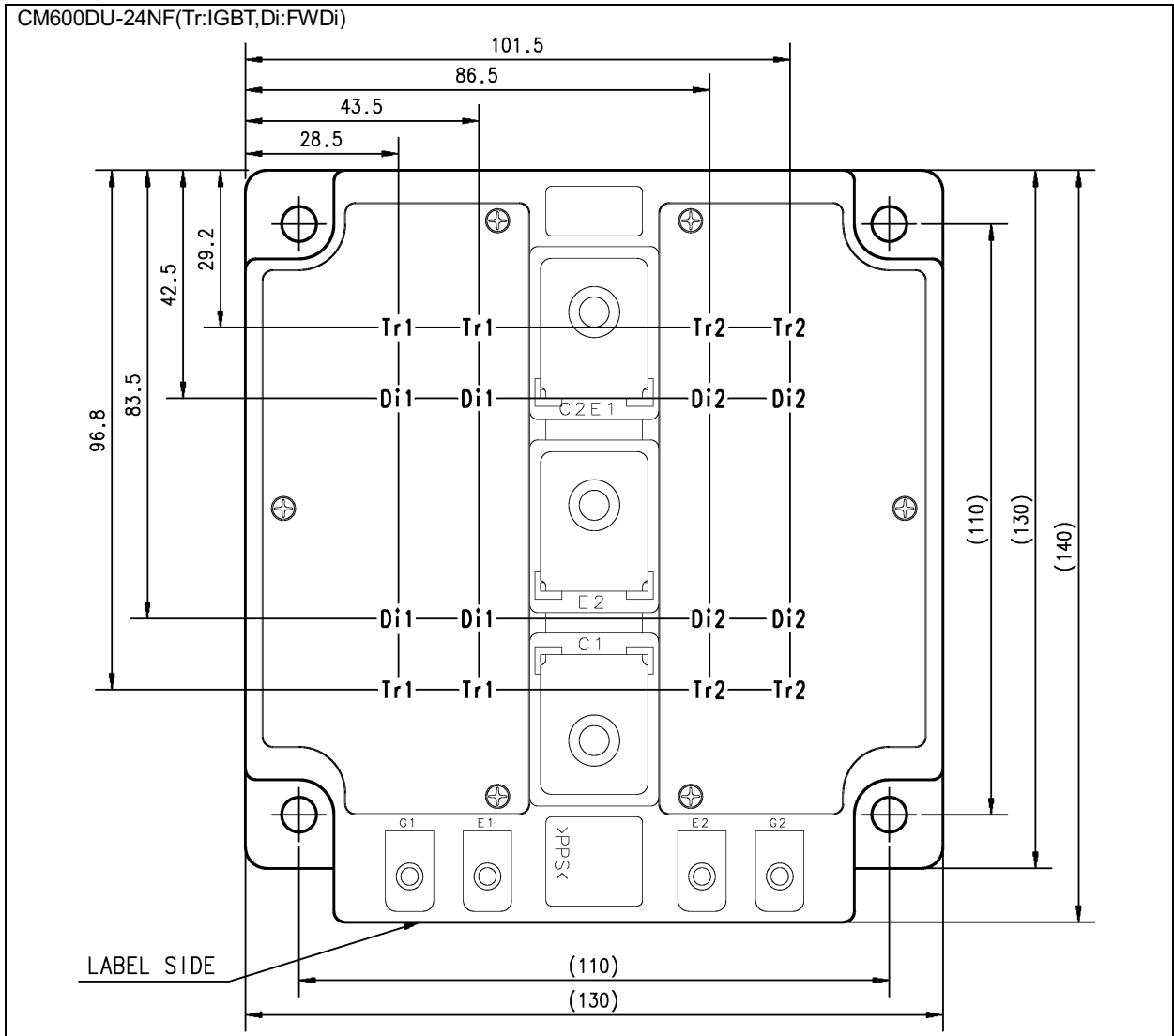


CM400DY-24NF/CM600DY-24A(Tr:IGBT,Di:FWDi)



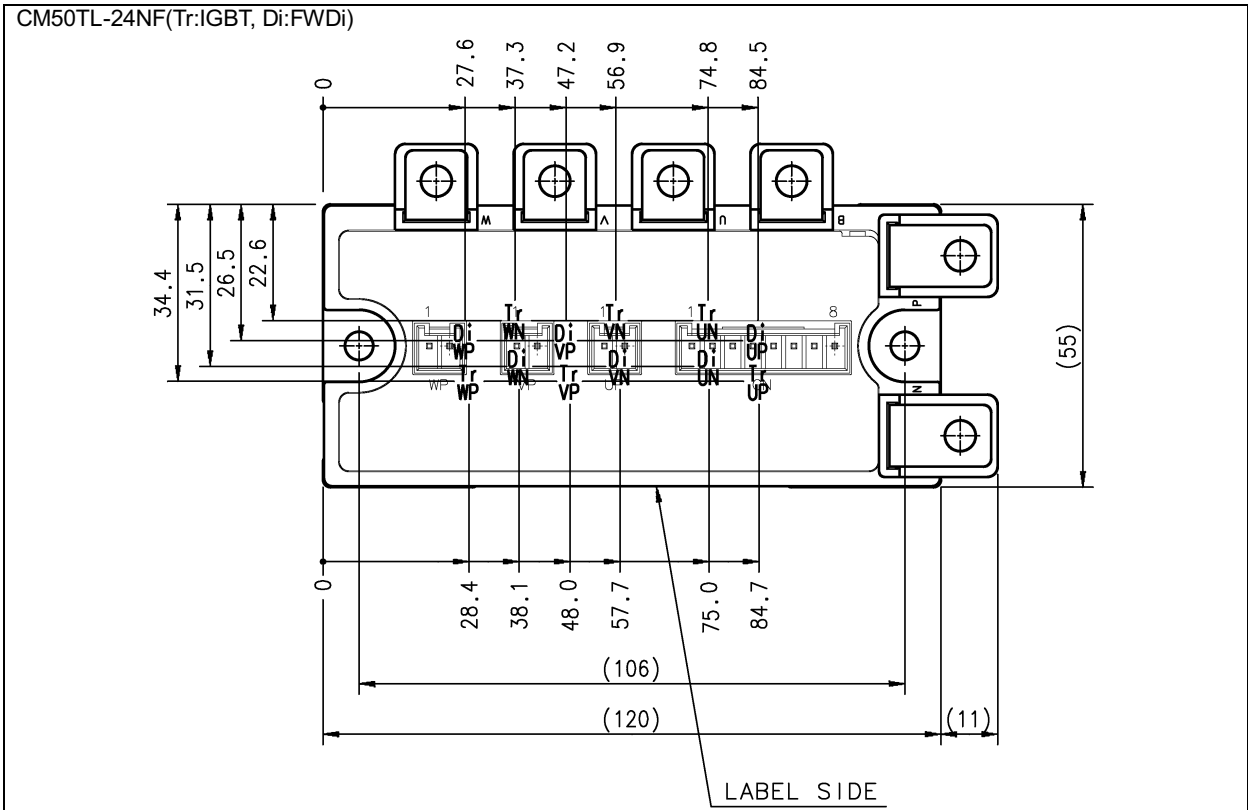
パワー素子の実装配置

表3-4 (続き) 1200Vシリーズ 2素子入
CM600DU-24NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)

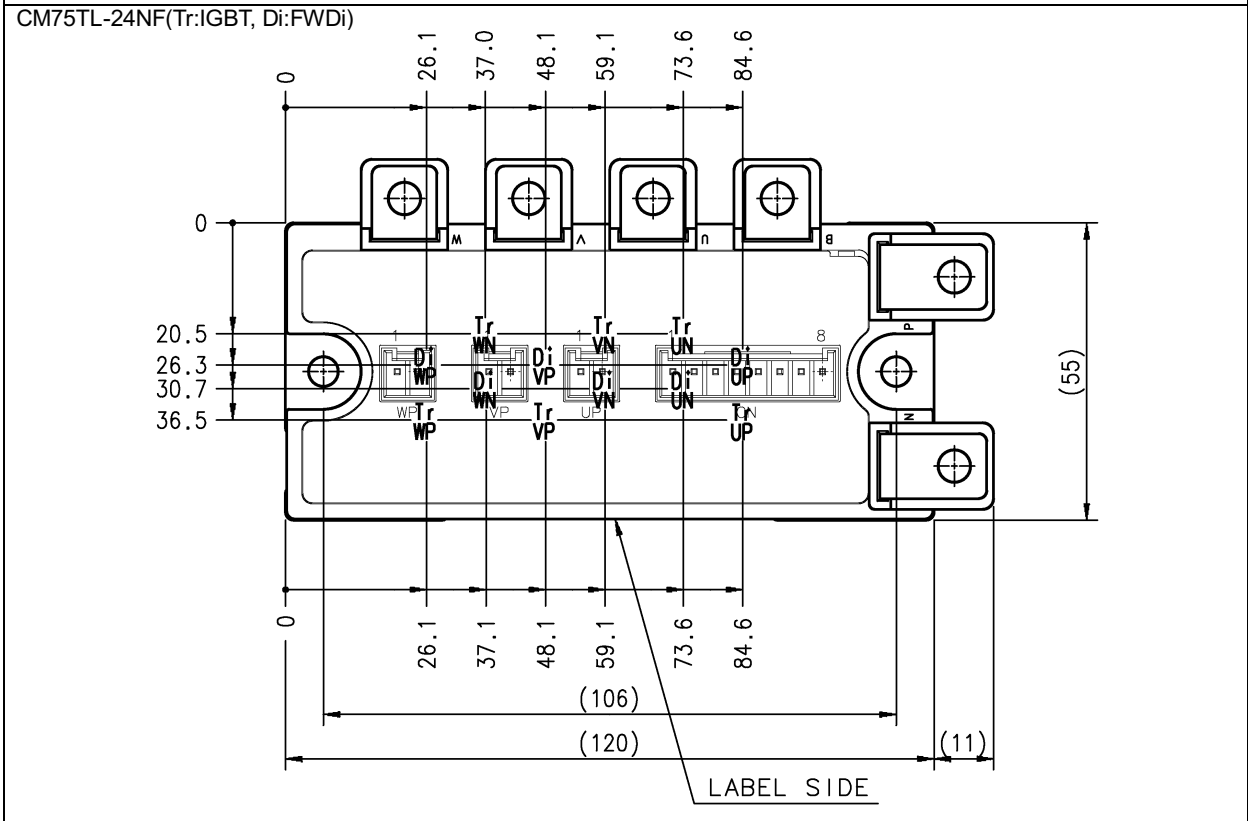


パワー素子の実装配置

表 3-5. 1200V シリーズ 6 素子入
CM50TL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)

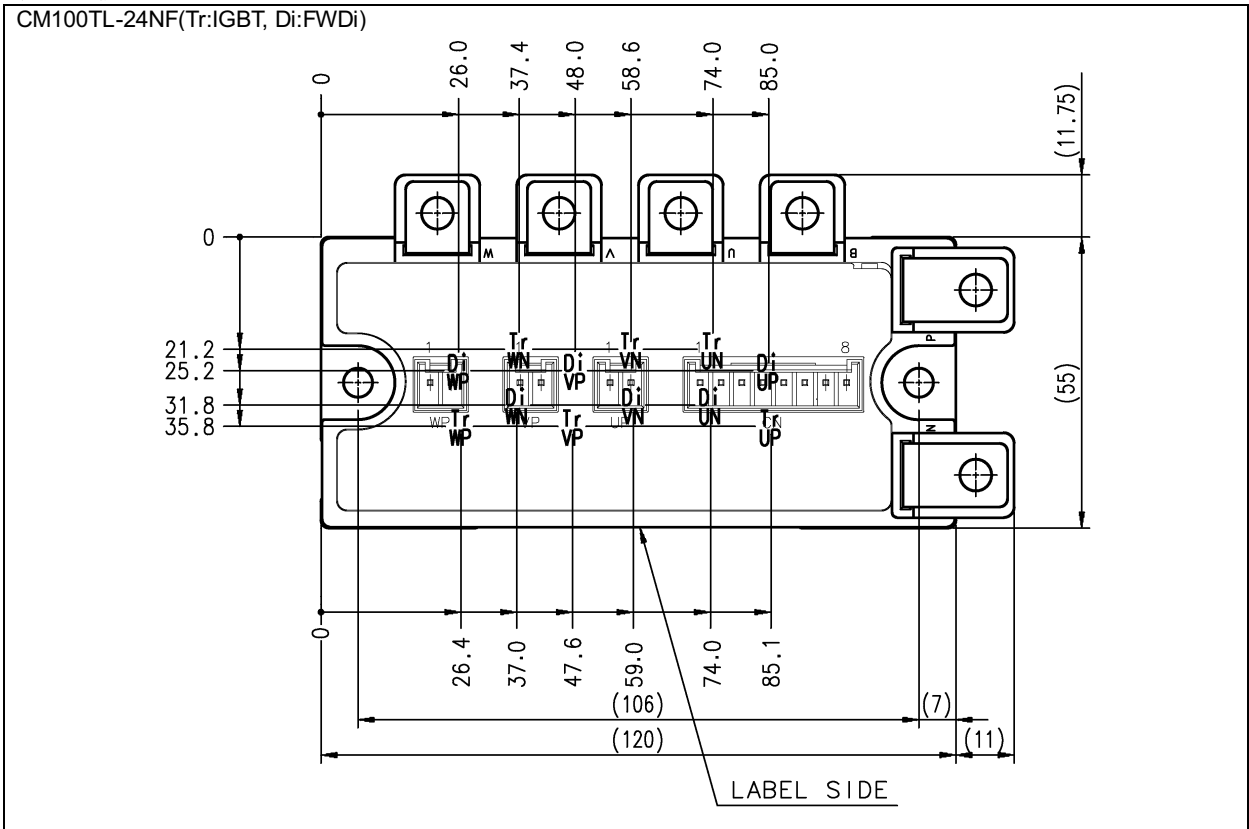


CM75TL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)

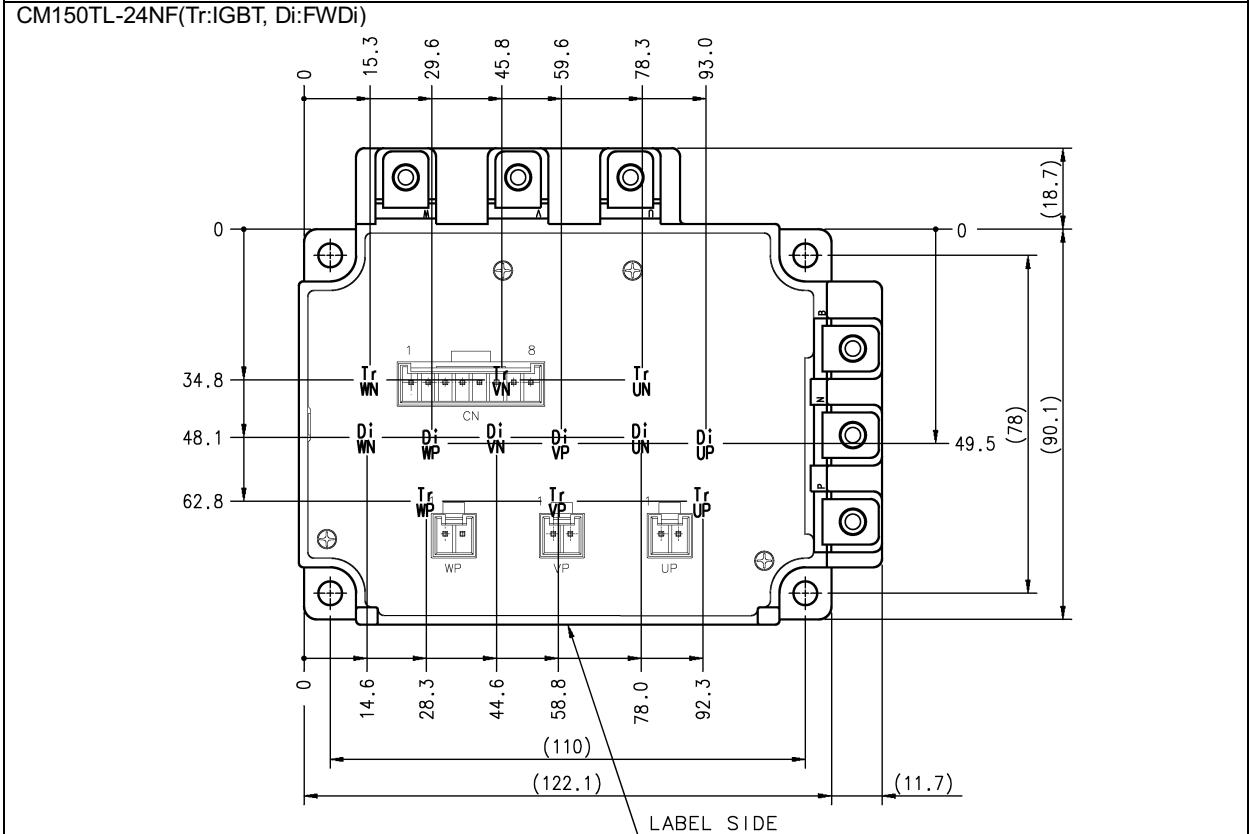


パワー素子の実装配置

表3-5 (続き) 1200Vシリーズ 6素子入
CM100TL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)

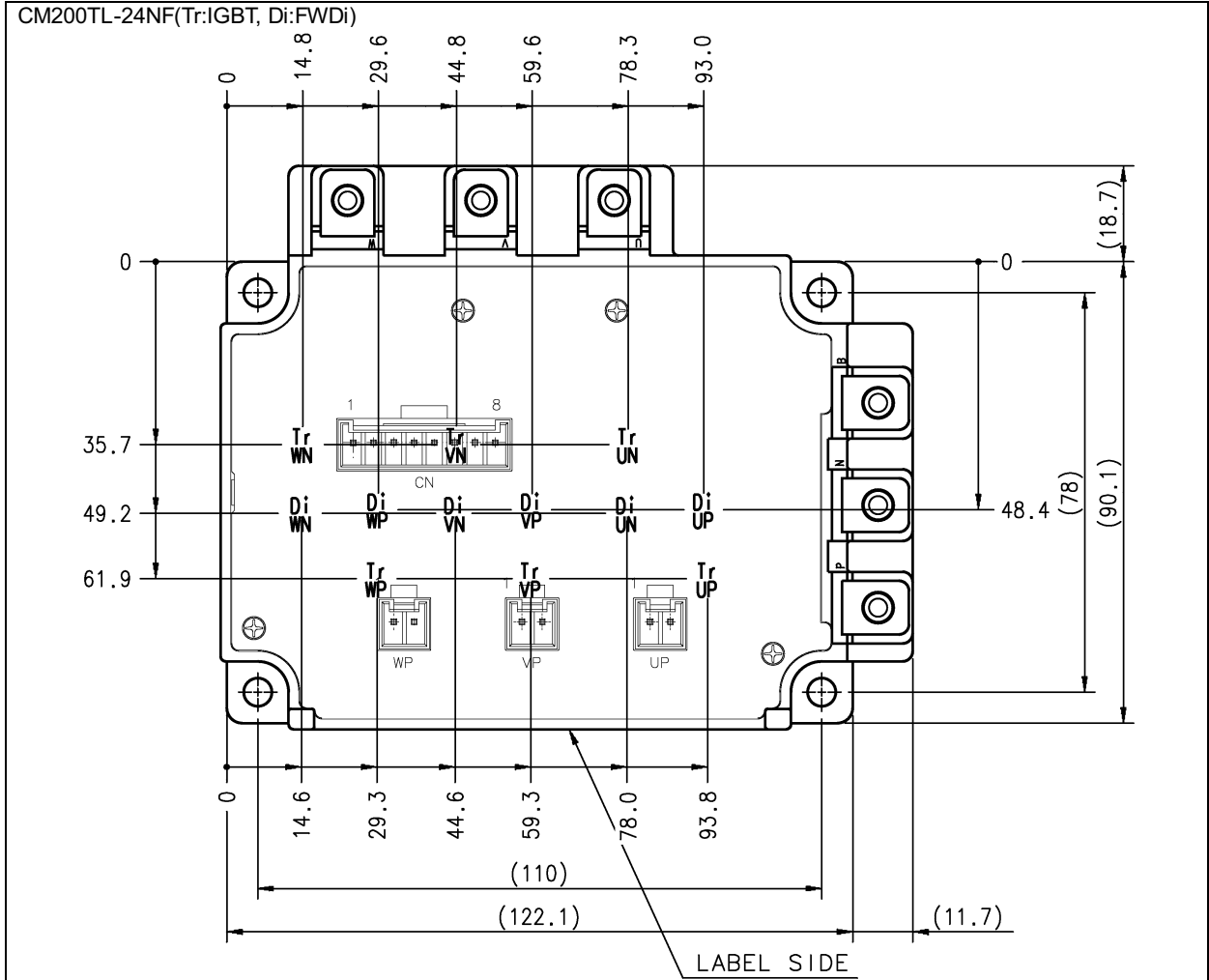


CM150TL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



パワー素子の実装配置

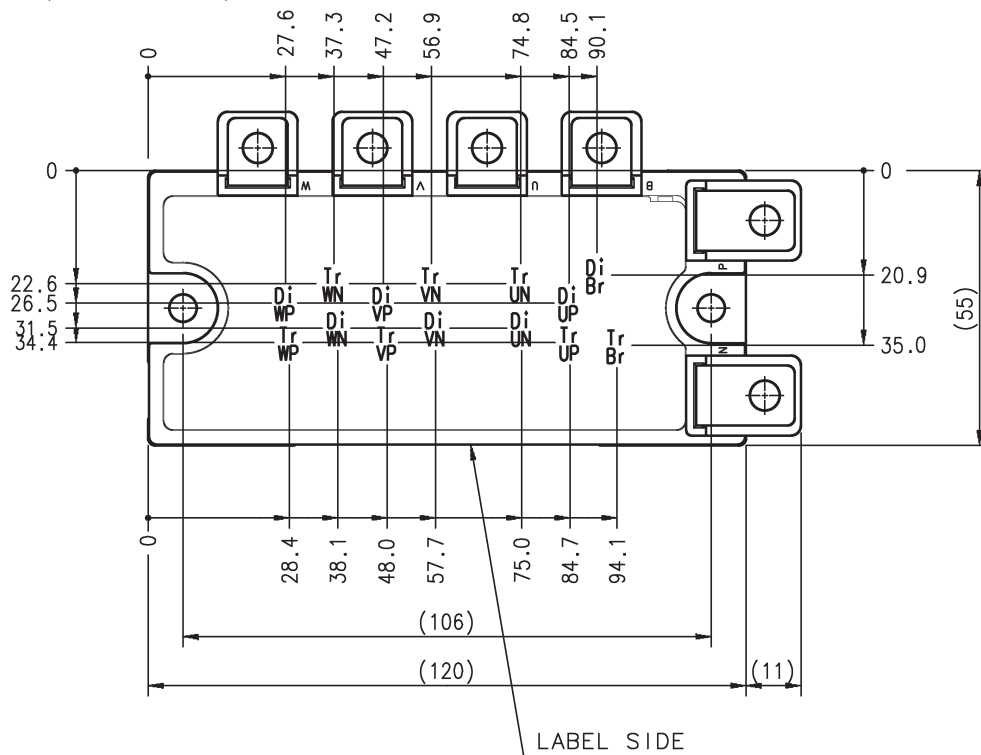
表3-5 (続き) 1200Vシリーズ 6素子入



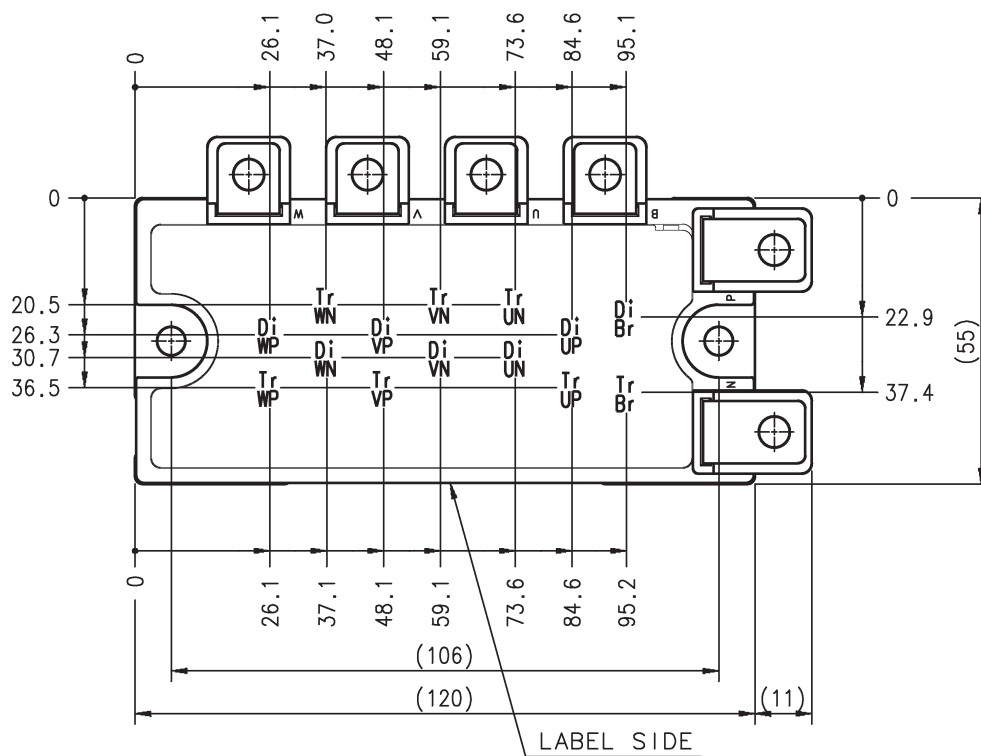
パワー素子の実装配置

表3-6.1200Vシリーズ 7素子入

CM50RL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



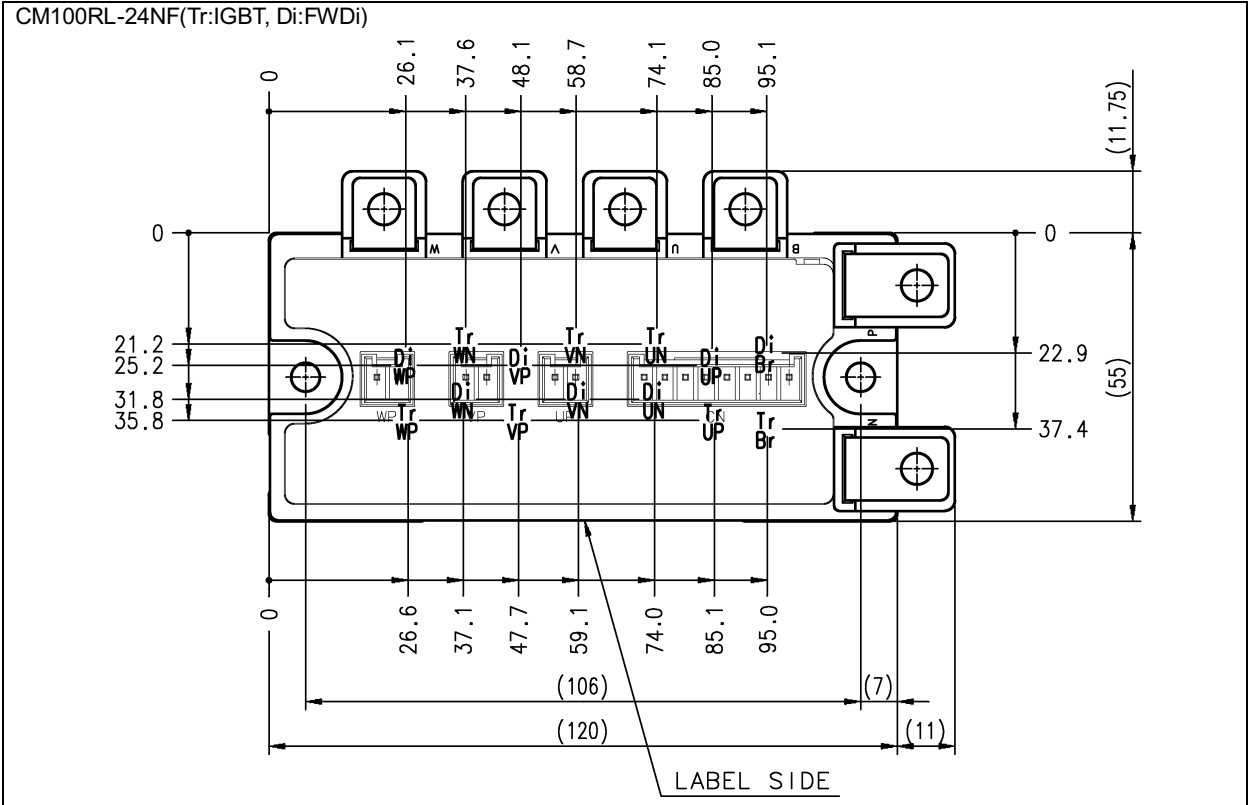
CM75RL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



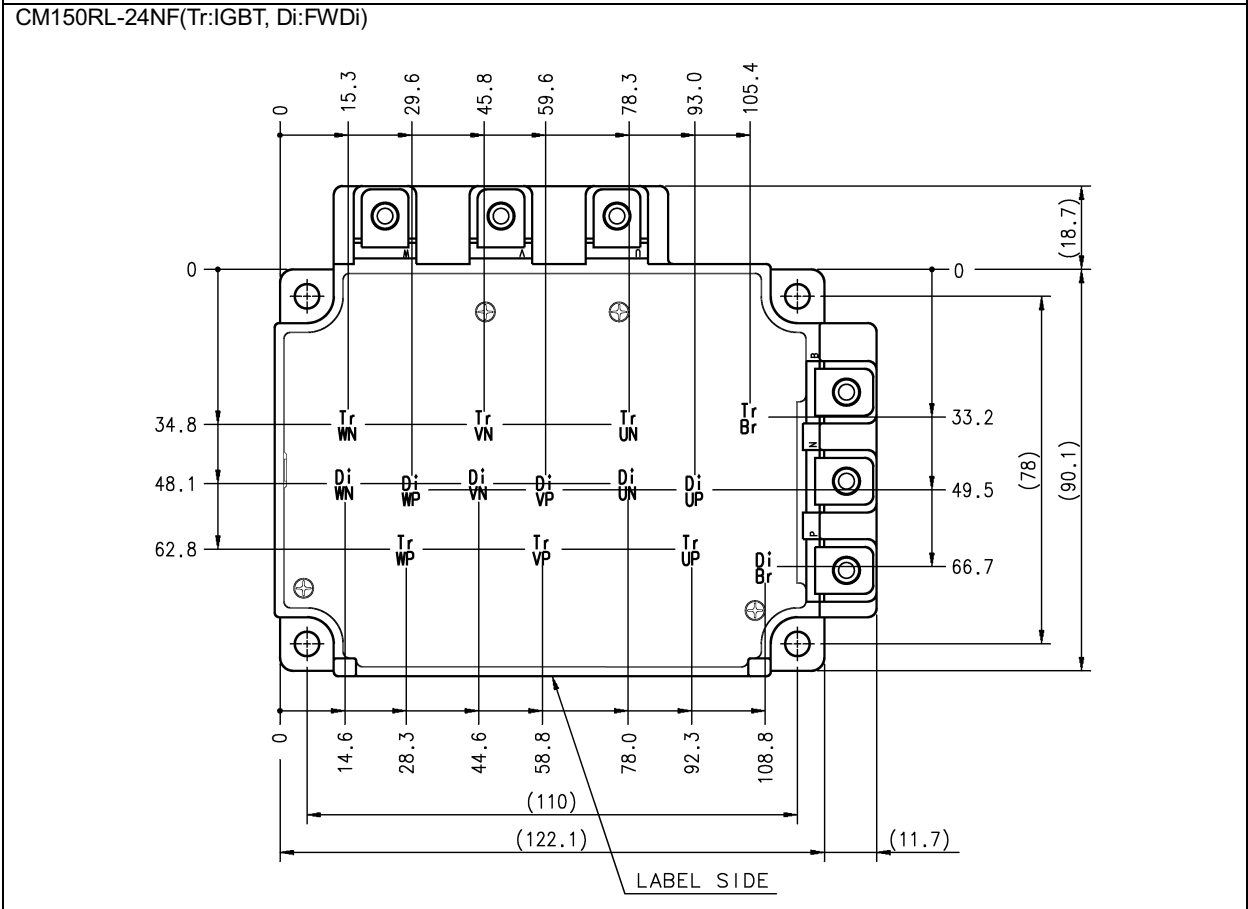
パワー素子の実装配置

表 3-6 (続き) 1200V シリーズ 7 素子入

CM100RL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



CM150RL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)



パワー素子の実装配置

表3-6 (続き) 1200Vシリーズ 7素子入
CM200RL-24NF(Tr:IGBT, Di:FWDi)

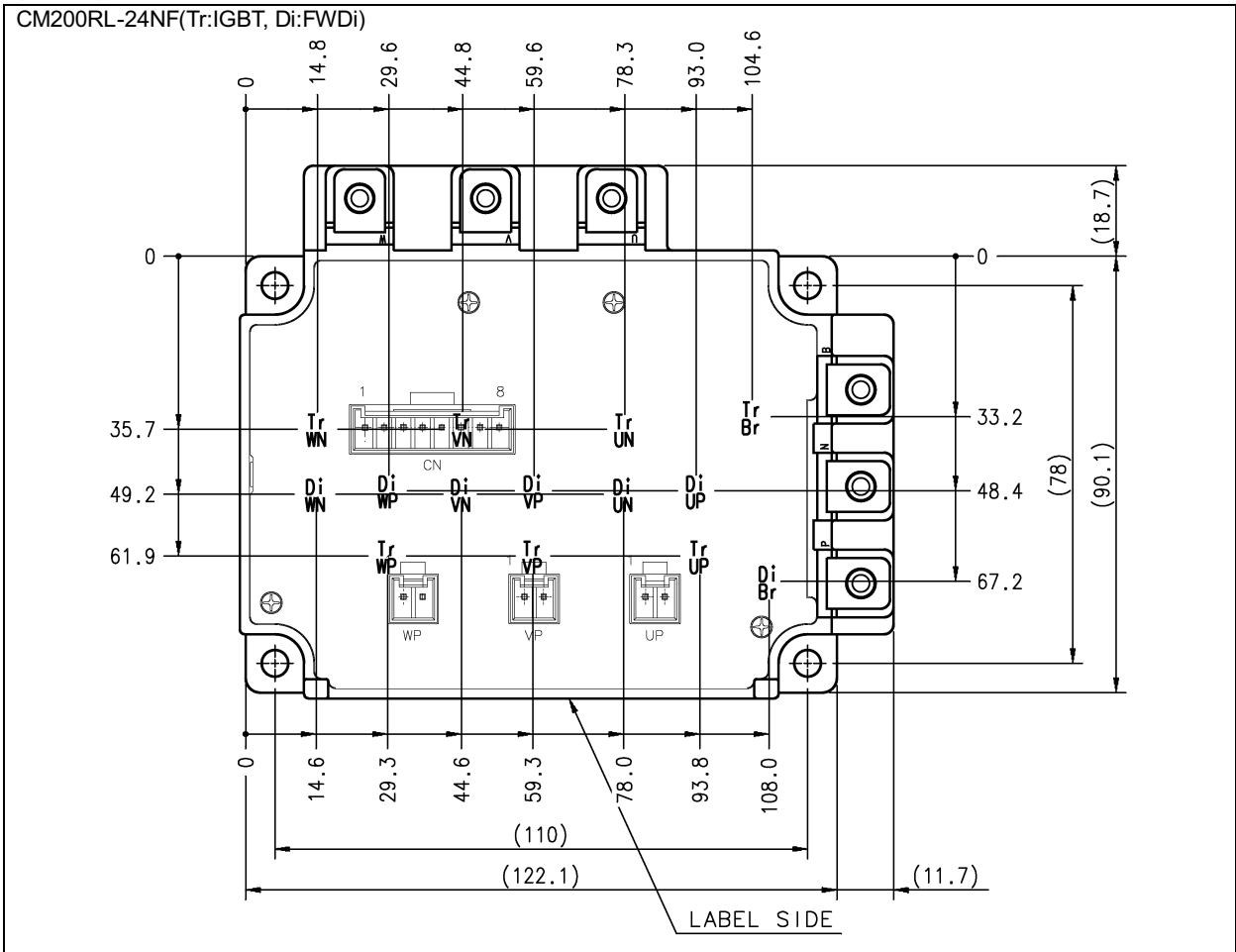
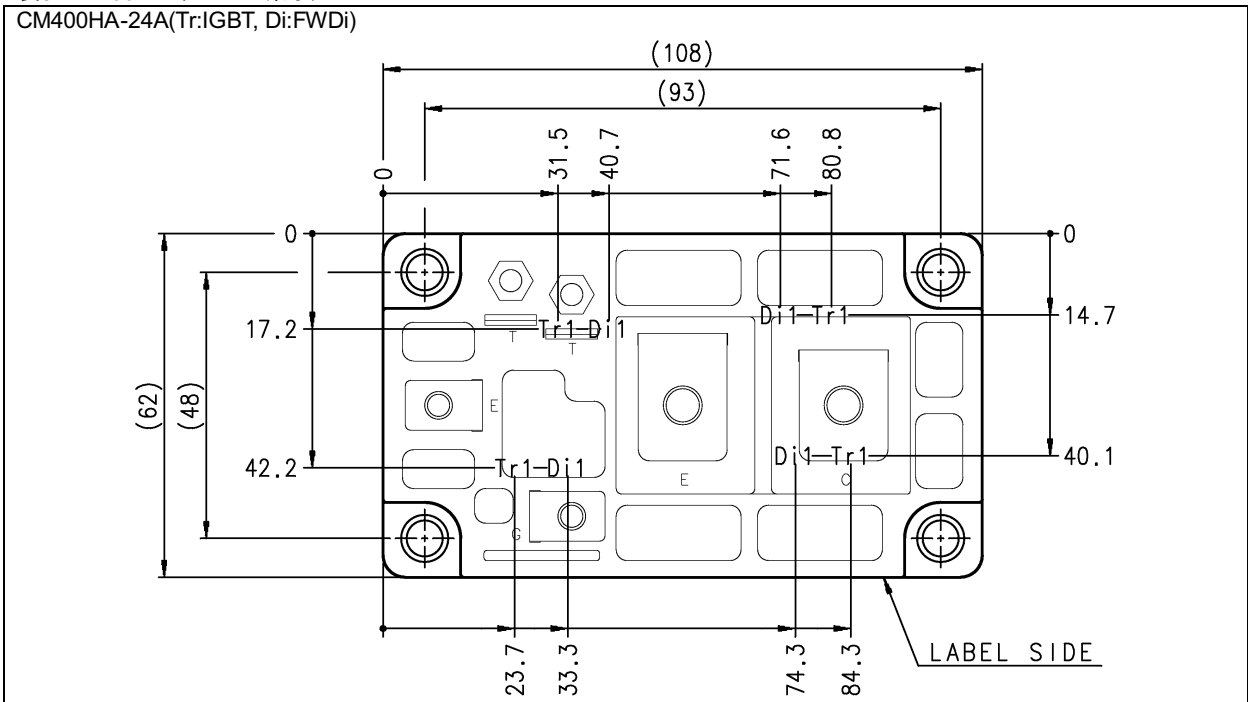
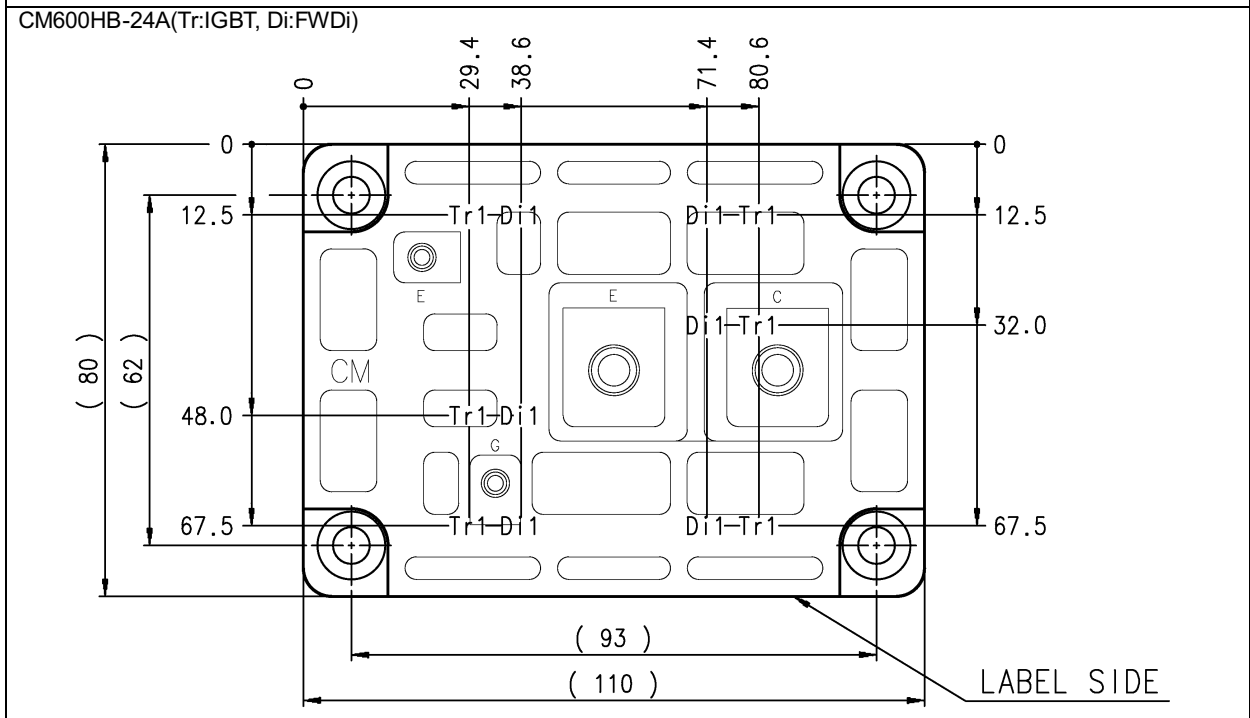
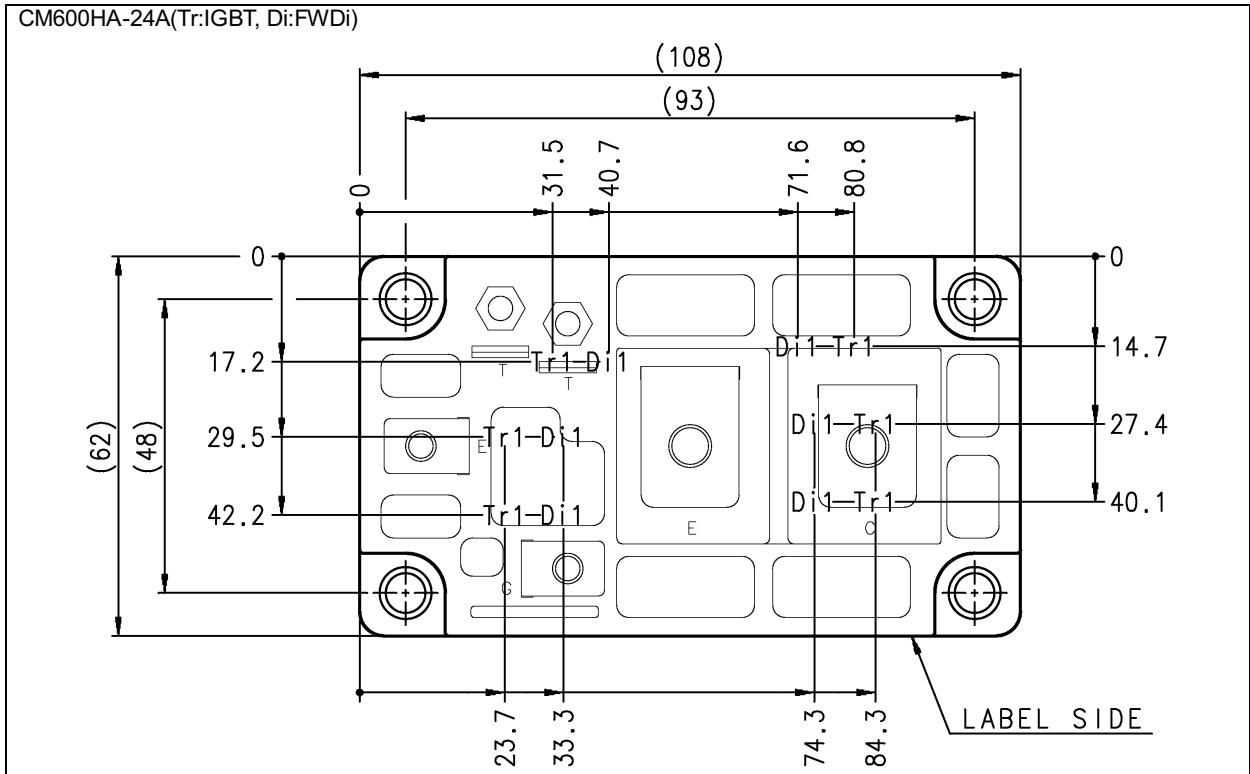


表3-7. 1200Vシリーズ 1素子入
CM400HA-24A(Tr:IGBT, Di:FWDi)



パワー素子の実装配置

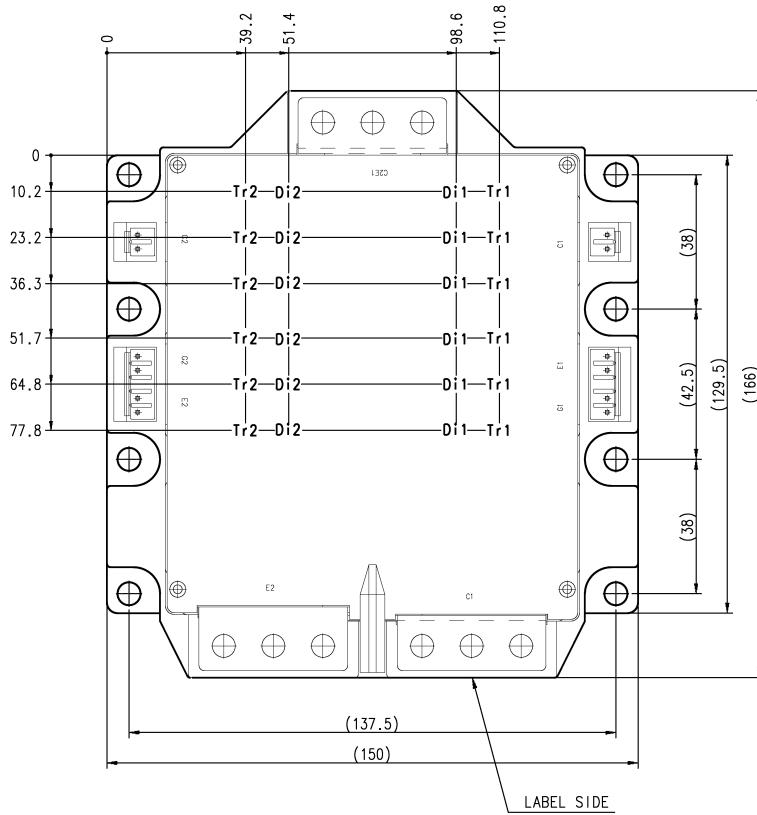
表3-7 (続き) 1200Vシリーズ 1素子入
CM600HA-24A(Tr:IGBT, Di:FWDi)



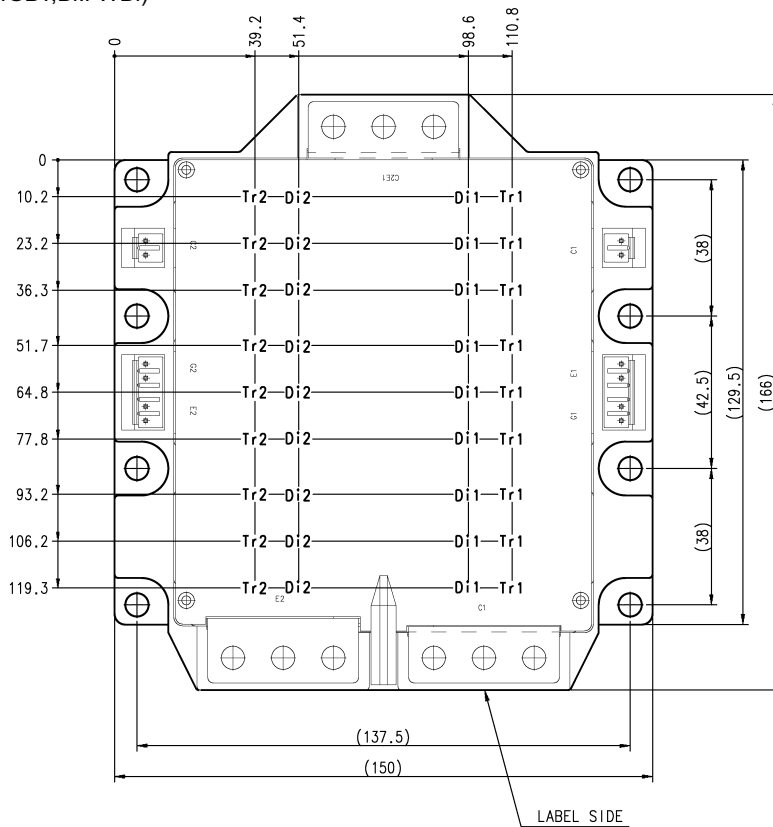
パワー素子の実装配置

表3-8. MPD

CM900DU-24NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



CM1400DU-24NF(Tr:IGBT,Di:FWDi)



パワーモジュールの信頼性

パワーモジュールの信頼性

1. はじめに

電力用半導体デバイスであるパワーモジュールは 1970 年後半のバイポーラ系半導体チップを搭載した Bip 系モジュール（トランジスタモジュール、サイリスタモジュール等）の市場投入、及び 1980 年前半の MOS 系半導体チップを搭載した MOS 系モジュール（IGBT モジュール等）の本格的市場投入により、現在では、その用途はエアコン、冷蔵庫、洗濯機に代表される家庭電化製品及び、各種インバータ、サーボ、UPS、電力・電鉄の周辺機器等の産業用機器に幅広く使用されています。

一方、信頼性面についても、これら半導体デバイスの技術向上と共に急速に向上しています。

一般的に、高信頼度が要求される機器では、半導体デバイスの故障率は $10 \sim 100\text{FIT}$ ($1\text{FIT} = 1 \times 10^9 / \text{時間}$) 程度が必要ですが、このような信頼度を実現する為には、半導体固有の信頼度の向上は勿論のこと、半導体の特質と半導体の信頼度に与える各種のストレスの大きさを充分加味した機器設計、使用条件との調和が非常に重要な問題といえます。

実際に同じ製法でつくられた半導体デバイスが機器設計上の余裕度、使用方法の違いより、市場における故障率が 1 桁以上異なることも、しばしば見られます。

ここでは半導体デバイスの信頼性について、一般的に機器設計、使用上で考慮する必要がある問題点、実際の市場故障に至った故障要因事例、弊社での信頼性試験結果事例及び品質保証活動について紹介いたします

2. 半導体デバイスの信頼性概説

2.1 半導体デバイスの故障率経時変化

一般に電子機器、電子部品の故障率は、図 1 (a) のように初期故障期、偶発故障期を経て磨耗故障に至る、いわゆるバスタブカーブ形の変遷をたどります。

このような故障率カーブにおいて、機器に使用する半導体デバイスの選定は、機器の用途、デバイス故障発生時の影響・波及性、予防保全体制等から、初期故障期の故障率、偶発故障期の故障率、及び有用寿命期間の 3 点を考慮して選定する必要があります。

また、半導体デバイスの故障率カーブの特徴として一般に図 1 (b) のように故障率が時間の経過と共に除々に減少していく傾向を示す特徴があります。このことは見方を変えますと、偶発故障期において故障率が低くなり安定していても、故障分布の形からは初期故障形が引き続いているとも言えます。実際の半導体デバイスの故障率の経時変化例は図 2 に示すように製造直後は高い故障率を示していますが、これをエージングし、デバッキングすることにより、故障率は、さらに減少していきます。このように高信頼度が要求される半導体デバイスのエージング、デバッキングとしては高温エージング、電力エージングなどが有効適切に利用されます。

先述の如く、半導体デバイスの故障率カーブは漸次減少形の分布を示しますので、機器の信頼度を上げるためには、初期故障率（特に断線、短絡などの重欠点の故障率）の低いものを使うことに考慮を払う必要があります。

次に、機器メーカー殿で、組立調整及びエージングに入りますが、この期間中の故障率は重欠点で $\leq 0.1\%$ です。もし、この値を大幅に越えるようなら、回路設計、組立工程、試験工程か又はデバイス自体に問題がありますので、原因の究明が必要です。

放置しておきますと、市場での故障多発につながることもあります。この組立調整及びエージング期間の重欠点故障率と市場故障率は相関のある場合が多く、故障率が高い場合には注意を要します。

さて、機器が市場に出ますと、さらにストレスレベルは低下しますので故障率は一段と低下し、通常、数 Fit \sim 数 100Fit になります。

この為には機器使用面からの余裕のある設計が必要で、一般には電圧は最大定格の 50 \sim 60% 以下、接合温度は最大定格の 70 \sim 80% 以下にディレーティングして使用頂くのが望ましい条件です。さらに使用する半導体デバイスと使用回路、環境条件（各種ストレス等）との協調も信頼性向上の為、忘れてはならない重要な要素です。

直流母線電圧が常時推奨値を越えるような電圧でご使用になられますと、急激に故障率が増加することになります。

なお先述していますように機器の信頼度設計上、デバイスの選択で考慮しておかなければならない問題に、性能及び信頼性と経済性との問題があります。

高性能、高信頼度化と経済性の両方を達成することは容易ではない為、この両者のバランスをとって、機器の目標とする性能、信頼度と調和のとれた、半導体デバイスを選択することがユーザー側の重要な課題といえます。

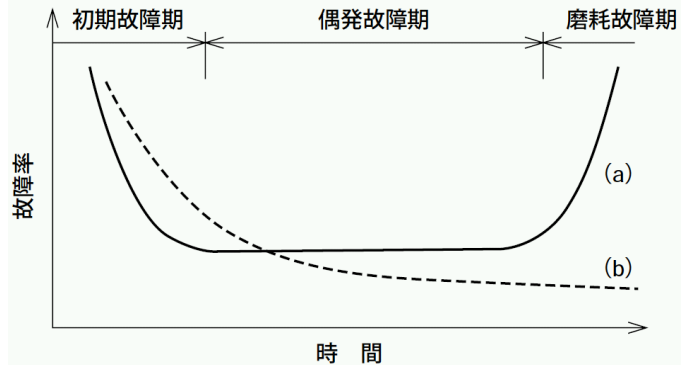


図 1 故障率の経時変化

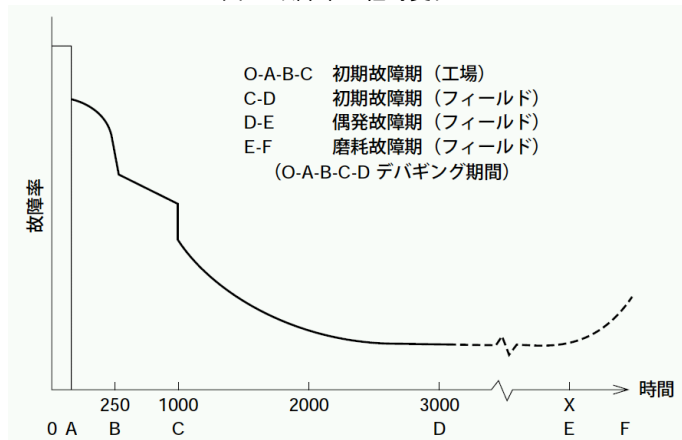


図 2 半導体デバイスの故障率経時変化

パワーモジュールの信頼性

2. 電力用半導体パワーモジュールの故障要因について

機器組立て調整段階・市場から故障として返却された素子について解析を行いますと、特性的に良品である場合、使用条件・環境に問題のある場合または、素子に欠陥のある場合があります。IGBT モジュールでは、次のような故障要因が挙げられます。

- ・良品 ————— デバイスの特性と機器側回路、使用条件のアンマッチング
- ・使用、環境条件 ———— 過電圧
 - ├ VCE 過電圧 (コレクタ～エミッタ間)
 - └ ターンオフサージ電圧
 - └ 母線電圧上昇
 - └ 制御信号異常
 - └ 外来ノイズ (雷サージ)
 - └ 測定不備
 - ├ VGE 過電圧 (ゲート～エミッタ間)
 - └ 静電気
 - └ ゲート駆動回路異常
 - └ ゲート発振
 - └ 高電圧印加
 - └ 外来サージ
- 過温度 (過電流, 過負荷)
 - ├ 放熱設計不備
 - ├ 短絡 (デッドタイム不足, 制御信号誤動作等)
 - ├ 過電流
 - ├ ゲート電圧不足
 - ├ ゲート配線オープン
 - ├ スイッチング周波数の異常増加
 - ├ スイッチング速度低下
 - ├ 放熱不足
 - ├ 接合部熱疲労
- 絶縁不良 (セラミック割れ, 内部はんだ再熔融)
 - ├ ヒートシンクへの取り付け異常 (異常応力)
 - ├ 過電圧
- ・半導体デバイス欠陥 ———— IGBT チップ製造欠陥
 - ├ パターン欠陥 (異物等による)
 - ├ 表面処理欠陥 (不純物イオン)
- モジュール製造欠陥
 - ├ ワイヤボンド接合不備
 - ├ 絶縁基板～ベース間の接合不備 (はんだボイド等)
 - ├ 内部電極はんだ付部不備
 - ├ メタライゼーション不備

上記要因の内では有用寿命期間を決定する要因の一つとしてモジュール内部のワイヤとチップ間のワイヤボンド接合部及び絶縁基板～ベース板接合部 (はんだ接合) の熱疲労故障があります。この熱疲労現象及び、その故障事例について次頁以降に説明いたします。

パワーモジュールの信頼性

2.3 電力用半導体モジュールの熱疲労現象について

2.3.1 モジュール動作時の熱ストレスモデル

パワーモジュールを動作させた場合の熱ストレスモデルは図3の如く2つの動作パターンに区分しその有用寿命を考慮してモジュールの選定、機器設計を行う必要があります。

■サーマルサイクル寿命

システム全体の起動から停止までなど比較的穏やかな温度変化が生じる動作パターンでの寿命

図の上側の「システム稼働ON時間」終了後、次のシステム稼働ONまでのケース温度 (T_c : ベース板のチップ直下の温度) の変化が1サイクルに相当

■パワーサイクル寿命 (P/C 寿命)

ケース温度の変化は少ないが接合部温度 (T_j) 変化が頻繁に生じる動作パターンでの寿命。

図中矢印で示された拡大部のようにシステム稼働ON時間中に接合温度の変化 ΔT_j が短時間に大きく変動する

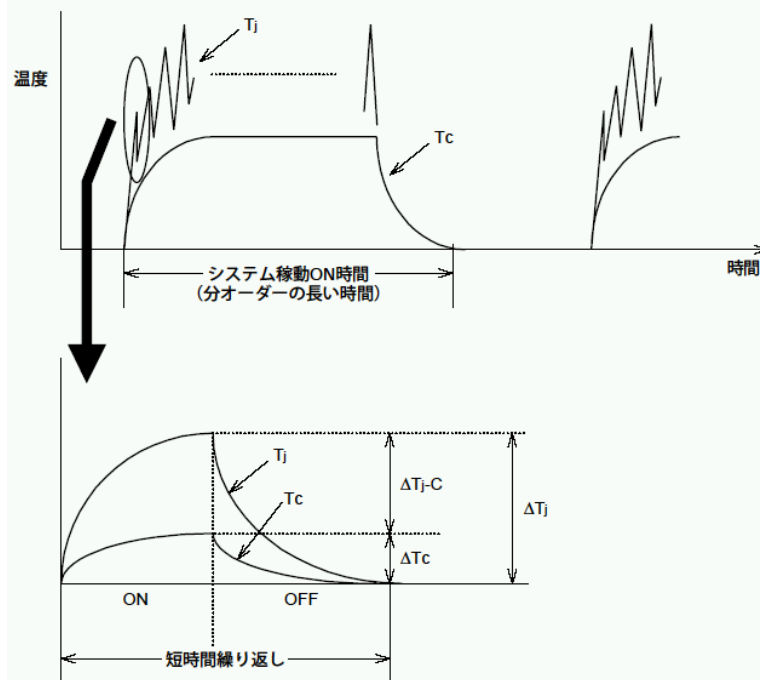


図3. 動作パターンとモジュール温度変化

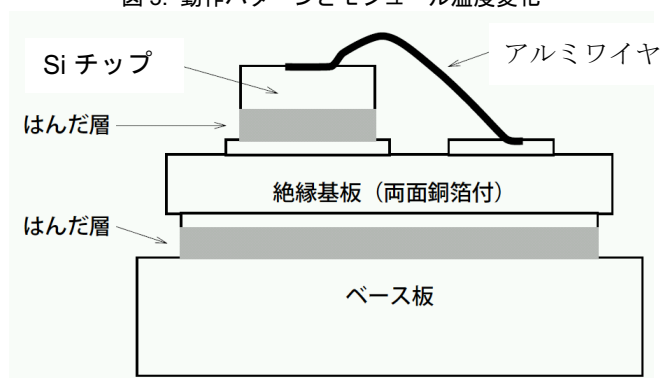


図4. モジュール構造断面図 (模式図)

パワーモジュールの信頼性

2.3.2 パワーサイクル寿命の故障メカニズム

図4の一般的なパワーモジュールの構造においてモジュール動作で接合温度変化が生じるとアルミワイヤとシリコンチップの線膨張係数の差によって生ずる応力で、この接合面に亀裂が生じ、この亀裂が進展し最終的には剥離モードとなります。

インバータ動作等でモジュールのケース温度は比較的穏やかな場合での、接合温度変化が頻繁に起こる条件においては、このパワーサイクル破壊を機器設計段階から考慮しておく必要があります。図5にパワーサイクルによる接合部剥離写真事例を示します

図6に弊社で実施したモジュール製品のパワーサイクル寿命試験結果（パワーサイクル寿命カーブ）の事例を示します。

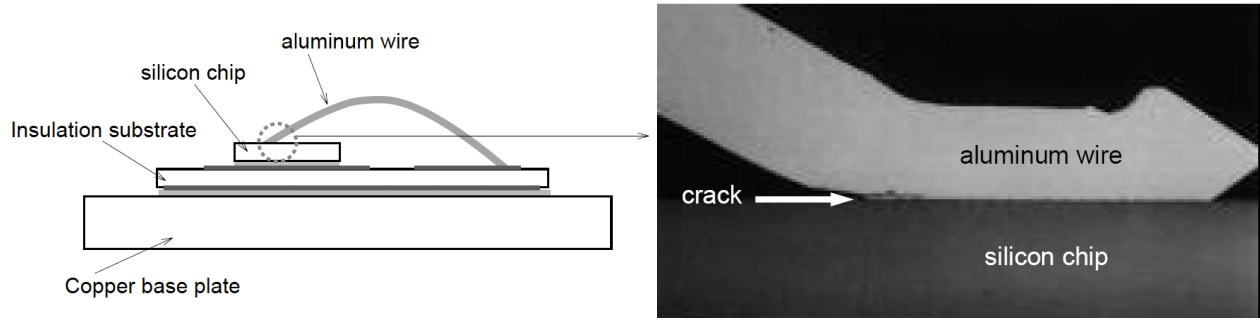


図5. パワーサイクル試験による接合部疲労状態

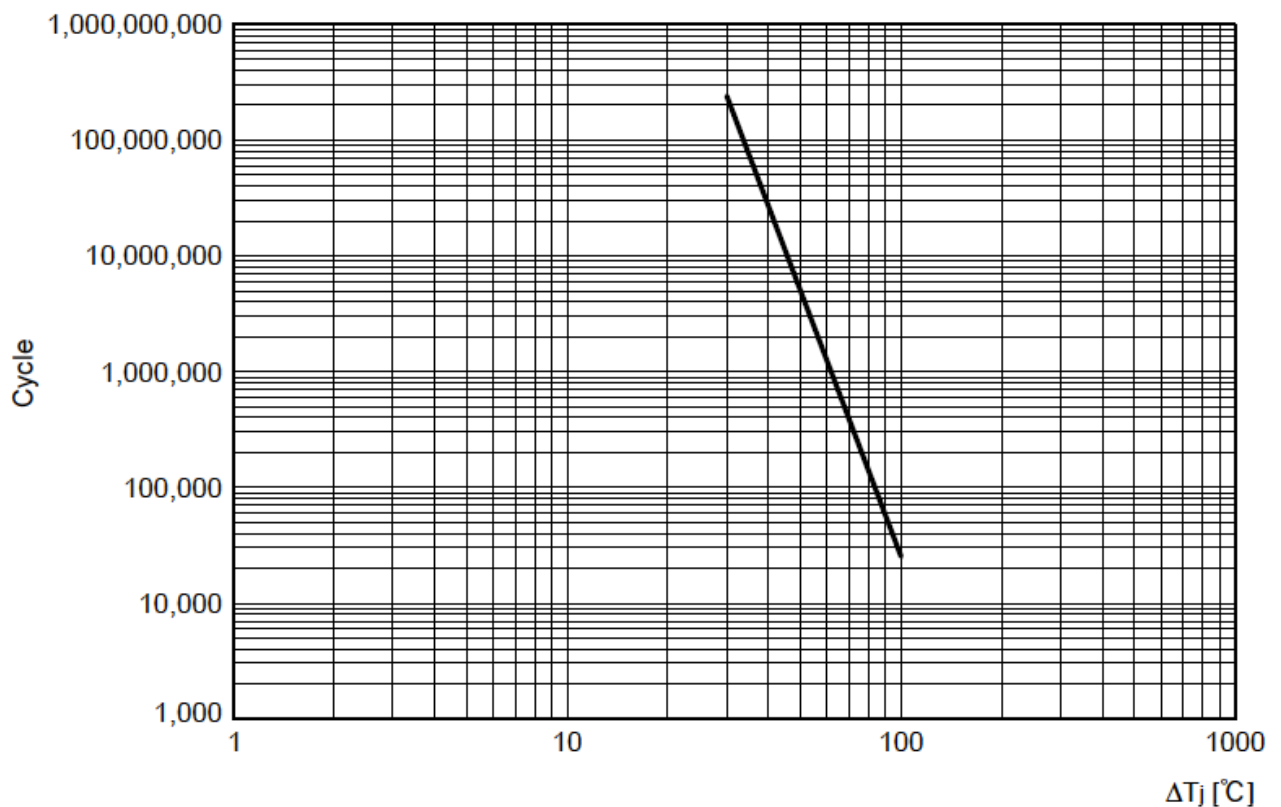


図6. パワーサイクル寿命カーブ

パワーモジュールの信頼性

2.3.3 サーマルサイクルでの故障メカニズム

システムの起動、停止によりパワーモジュールのケース温度 (T_c) に比較的穏やかで大きな温度変化が生じる動作パターンでは図4のモジュール構造図で絶縁基板とベース板の線膨張係数の差により、この間に存在するはんだ層に応力歪が生じます。

この応力が繰り返されるとはんだに亀裂が生じ、この亀裂がパワーチップ下部まで進行すると熱抵抗の増加をまねき熱暴走破壊に至るか、熱抵抗増加により接合温度変化が増加しパワーサイクル耐量を低下させ最終的にはパワーサイクル寿命と同等なワイヤ剥離モードに至ることになります。図7にサーマルサイクルによる絶縁基板とベース板間のはんだ層亀裂写真事例を示します。図8に弊社で実施したモジュール製品のサーマルサイクル寿命試験結果の事例を示します。

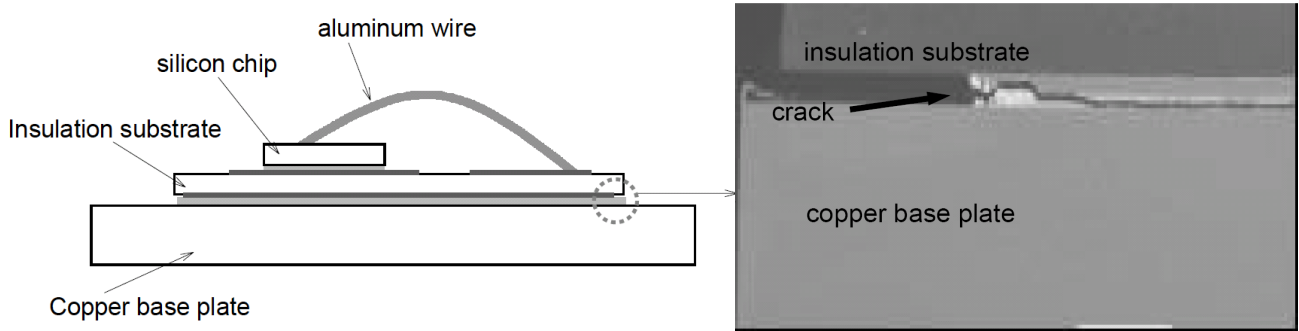


図7. サーマルサイクル試験によるはんだ疲労状態

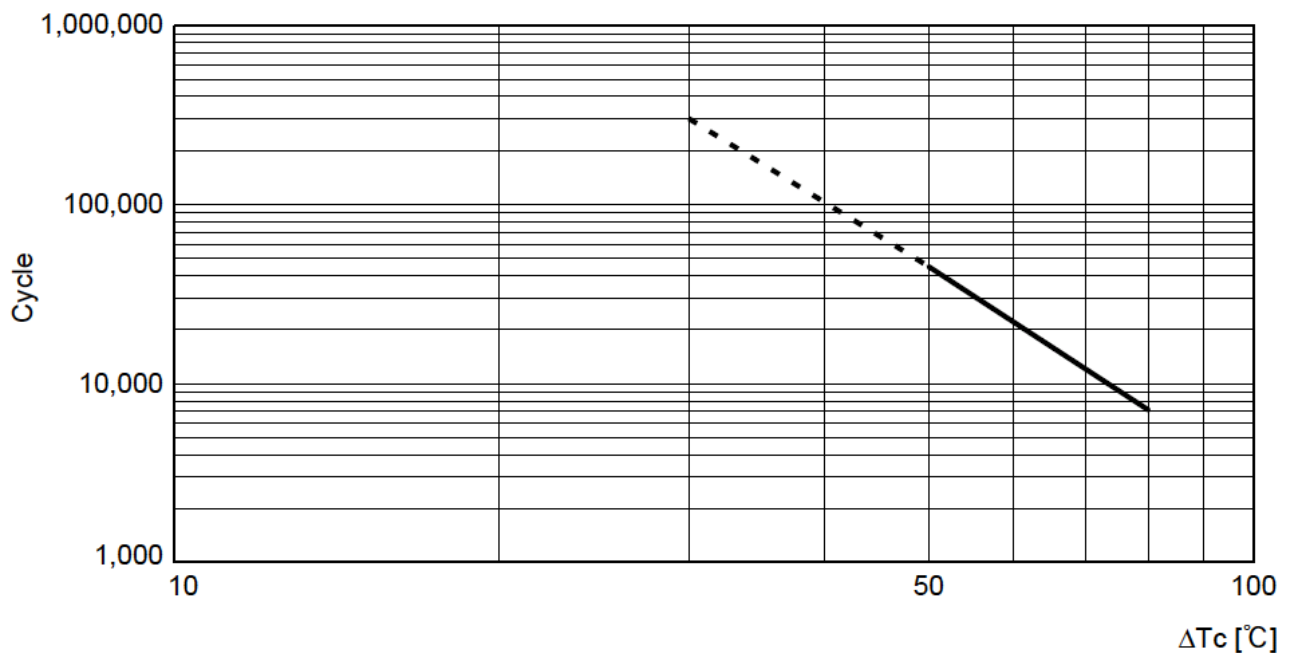


図8. サーマルサイクル寿命カーブ

パワーモジュールの信頼性

3. 品質保証活動について

製品の品質、価格、納期及びサービスは、いずれも重要な要素として、それぞれ最善をつくさなければなりません。品質はその製品が存在する限り絶えずその使用者とともにあり、使用者に奉仕を続ける、切り離すことのできない重要なものです。

半導体工業では、製品に要求される品質水準が非常に高く、一方、その製造は「ウェハ工程」に見られるきわめて精密なプロセス制御能力や、「アセンブリ工程」に見られる微細な作業など非常に高度な技術を要する大量生産方式ですので、それだけに、高い品質管理を必要とします。

以下に、その品質保証活動の概要を説明いたします。

3. 1 量産を行うための手順

開発試作から量産試作を経て、量産に至るまでの各段階ごとに、性能、信頼性確認のために一連の形式試験を実施し、あわせて図面標準類の検討も行います。開発から量産まで品質保証系統図を図 9 に示します。また、形式試験のうち、信頼性確認のための信頼性試験については次節で述べます。

3. 2 環境管理

半導体工業では、環境が製品の品質に影響を与えることがとくに大きく、防塵、防湿、恒温を保つため、管理基準が定められ、厳密な管理が実施されています。工場で使用されるガス類及び水についても同様の処置がとられています。

3. 3 製造装置、計測機器などの定期点検及び保守管理

半導体工業は装置工業ともいわれ、製造装置、計測機器などの管理は、デバイスの製造上、重要な要素です。装置の精度低下、故障などを未然に防ぐため、定期的な点検、保全が実施されています。

3. 4 購入資材の管理

受入検査基準に基づき、分光分析器などを使用し、厳密な分析、検査を行います。発注に際しては、品質上の留意点を確認するとともに、十分なサンプル検討を行い、問題点を解決してから正式納品が開始されます。また、納入者の製造工程の品質管理にも十分配慮をしています。

3. 5 製造工程の管理

品質に重要な影響を与える要因となる純水の純度、雰囲気、炉関係の温度、ガス流量などの条件値については、それぞれ計測器を取り付け、作業者のチェックシートによる点検、または、自動記録を行います。さらに拡散など特性にとくに大きく影響を与える作業については、拡散深さ、表面濃度などを記録し、作業条件の管理データとして活用しています。また、アセンブリ工程においては、ワイヤボンド作業の圧加重、強度管理などと品質に影響を与える工程については、データ取得と、管理を行い、品質の安定に努めています。

3. 6 中間検査及び最終検査

中間検査及び最終検査の実施についての考え方は、製品の品質特性、すなわち、外観、寸法、構造、機械的及び電気的特性などの良否の判定を行うとともに、それにより得られた品質情報を前工程にフィードバックし、品質の維持向上、ばらつきへの減少を計ることを目的としています。

中間検査としては、ウェハテスト及びアセンブリ工程の抜取検査があり、いずれも「品質は製造工程で作り込む」という基本的な考え方に基づく作業部門の自主チェックと品質管理部門の検査の 2 本立てで実施しています。自主チェックは自主的確認による品質の是正はもとより、完成品では発見しにくい事項の確認に重点をおいています。製品完成後は、完成品検査として最終検査を行います。最終検査としては電気的特性、外観検査を全数について行います。品質保証部門は、最終的にユーザが使用する観点に立って総合的な性能、品質を確認し保証するために、製品を倉入れする前に、外観、電気的特性及び信頼性について抜き取りによる品質保証検査を実施し、ロットごとに倉入れの可否を厳重にチェックしています。

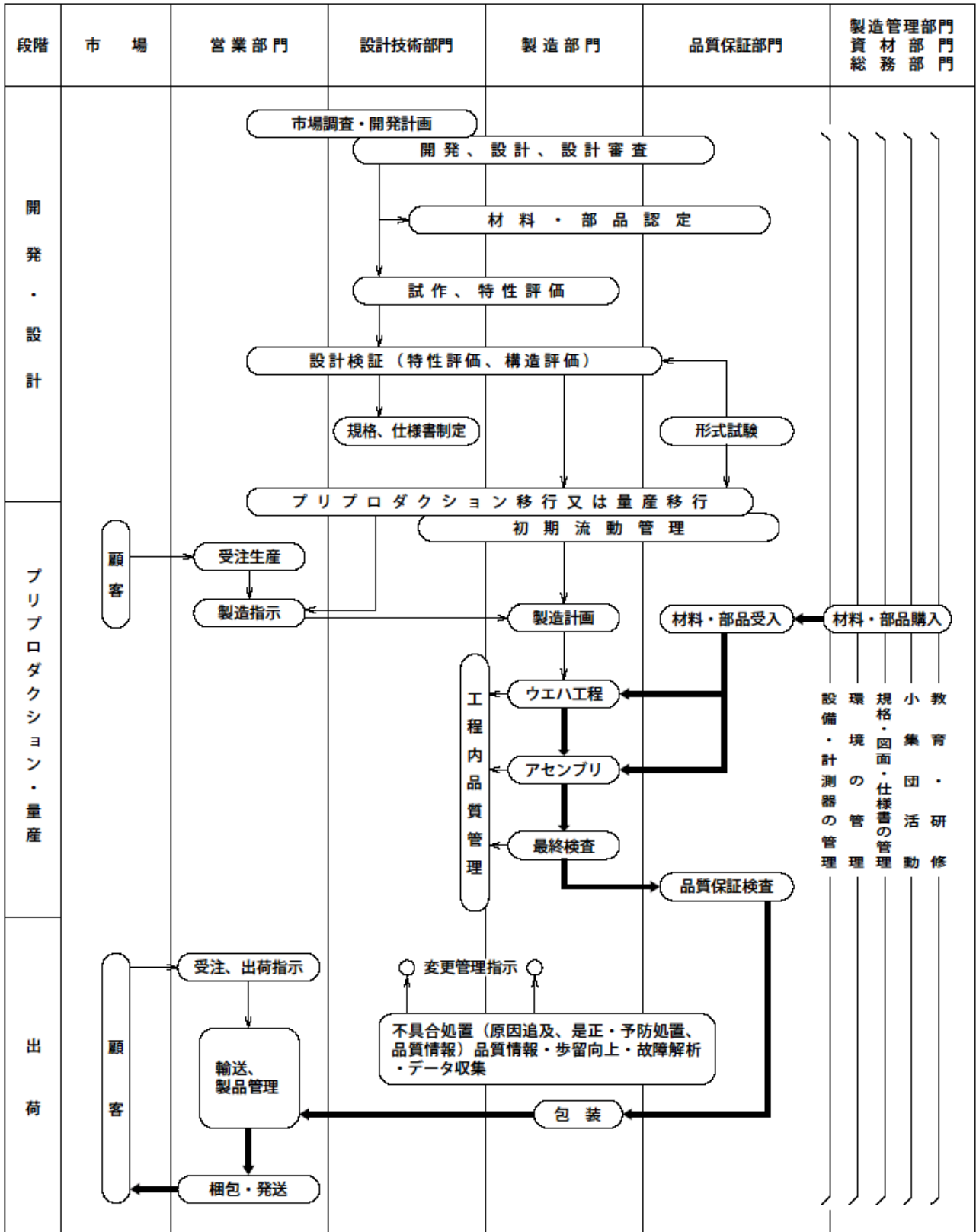
以上に述べました品質保証活動の系統図は前述の図 9 に示すとおりであります。

3. 7 品質情報

検査結果記録及び客先情報などの各種品質情報は、主として品質保証部内で作成され品質の維持改善のため製造部門をはじめ関係部門へ迅速にフィードバックされます。

さらに、情報管理の近代化を計るため、コンピュータによる合理的かつ効果的な品質管理システムを採用しています。

パワーモジュールの信頼性



→ 製品、材料・部品の流れ → 情報の流れ

図9. 品質保証系統図

パワーモジュールの信頼性

4. 信頼性試験

4.1 信頼性試験法

三菱半導体デバイスは高信頼度を保証できる設計、製造工程における厳密な品質管理、製造ロットごとの品質保証検査を行っていますので、十分満足して使用できる信頼度水準に達しています。この信頼度水準を確認するために、種々の信頼性試験を実施しています。

本節では、パワーモジュールの代表品種についての試験例を紹介しますが、ここで行われている試験内容について表1に示します。なお、三菱半導体デバイスの信頼性試験は、社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA) 規格に準拠して実施しております。(関連規格：国際電気標準会議 (IEC) 規格、社団法人 日本電子機械工業会 (EIAJ) 規格)

4.2 IGBT モジュール信頼性試験結果

代表例として定格電流 300A の樹脂封止形 IGBT モジュール CM300DY-24NF の信頼性試験結果を表2に、またこのときの故障判定基準を表3に示します。

表1. 三菱パワーモジュール信頼性試験

	試験項目	試験方法		試験条件
環境試験	熱衝撃	ED-4701	B-141	[条件A] 100°C : 5分, 0°C : 5分, 10サイクル
	温度サイクル	"	B-131	Tstg min 60分~Tstg max 60分, 100サイクル
	振動	"	A-121	[条件B] 10~500Hz/15分, 98.1m/s ² , 6時間
	端子強度 (引張り)	"	A-111- I	9.8~40N, 10±1秒
	はんだ耐熱性	"	A-132	[条件A] 260±5°C, 10±1秒, ロジン系フラックス使用
	はんだ付け性	"	A-131	[条件A] 235±5°C, 5±0.5秒, ロジン系フラックス使用
	締付トルク強度	"	A-112- II	M8 : 8.83~10.8N・m, 10±1秒 M6 : 2.94~4.5N・m, 10±1秒 M5 : 1.96~3.5N・m, 10±1秒 M4 : 1.47~1.7N・m, 10±1秒 M3 : 0.98N・m, 10±1秒
耐久性試験	高温保存	"	B-111	Ta=Tstg max, 1000時間
	低温保存	"	B-112	Ta=Tstg min, 1000時間
	耐湿性	"	B-121	[条件B] Ta=60°C, RH=90%, 1000時間
	断続通電	"	—	ΔTc=50°C (ΔTc=100°C), 5000サイクル
	高温逆バイアス	"	—	Ta=Tstg max, V _{CE} =V _{CES} の85%, V _{GE} =0V, 1000時間
	高温ゲートバイアス	"	—	Ta=Tstg max, V _{CE} =0V, V _{GE} =20V, 1000時間

* : 社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA) 規格 ED-4701 半導体デバイスの環境及び耐久性試験方法

表2. CM300DY-24NF信頼性試験結果

	試験項目	試験方法		試験条件	試料数	故障数
環境試験	熱衝撃	ED-4701	B-141	[条件A] 100°C(5分), 0°C(5分), 10サイクル	5	0
	温度サイクル	"	B-131	-40°C(60分)~125°C(60分), 10サイクル	5	0
	振動	"	A-121	[条件B] 10~500Hz/15分, 98.1m/s ² , 6時間	5	0
	端子強度(引張り)	"	A-111- I	40N, 10±1秒	5	0
	はんだ耐熱性	"	A-132	[条件A] 260°C±5°C, 10±1秒, ロジン系フラックス使用	5	0
	締付強度 (締付トルク)	"	A-112- II	取付けねじ : M6, 4.5N・m, 10±1秒 主端子ねじ : M6, 4.5N・m, 10±1秒	5	0
耐久性試験	高温保存	"	B-111	Ta=125°C, 1000時間	5	0
	低温保存	"	B-112	Ta=-40°C, 1000時間	5	0
	耐湿性	"	B-121	Ta=60°C, RH = 90%, 1000時間	5	0
	高温逆バイアス	—	—	Ta=125°C, V _{CES} =1020V, V _{GE} =0V, 1000時間	5	0
	高温ゲートバイアス	—	—	Ta=125°C, V _{CE} =0V, V _{GE} =20V, 1000時間	5	0
	断続通電	—	—	Tc=50°C~100°C, 5000サイクル	5	0

表3. CM300DY-24NF故障判定基準

測定項目	測定条件	故障判定基準		備考
		下限	上限	
I _{CES}	V _{CE} =1200V, V _{GE} =0V	—	U.S.L. × 2.0	
I _{GES}	V _{GE} =±20V, V _{CE} =0V	—	U.S.L. × 2.0	
V _{GE(th)}	I _C =30mA, V _{CE} =10V	L.S.L. × 0.8	U.S.L. × 1.2	
V _{CE(sat)}	I _C =300A, V _{GE} =15V	—	U.S.L. × 1.2	
V _{EC}	I _E =300A, V _{GE} =0V	—	U.S.L. × 1.2	
絶縁耐力	AC2500V 1分間	絶縁破壊		

注. U.S.L. : 規格上限値 L.S.L. : 規格下限値

パワーモジュールの信頼性

5. 故障解析

品質水準及び信頼性の維持・向上に必要な情報を得る手段の一つとして故障解析があります。故障解析は、開発、製造段階での半製品、製品の故障品、信頼性試験で生じた故障品、ユーザでの試験や使用中で生じた故障品などに対して実施しております。

故障解析は、外部検査、電氣的検査、内部検査、チップ解析に大別されます。故障解析の手順を図10に、その内容を表4に示します。

信頼性試験結果及び故障解析結果により故障モードや故障メカニズムが明確になり、プロセス技術部門や製造部門にフィードバックして必要な正措置をとることによって製品の信頼性を絶えず改善するように努めております。

6. ディレーティングと信頼度予測

半導体デバイスの信頼度は、使用条件、環境条件によって同一品種でも大きく異なってきます。また、半導体デバイスの設計基準、製造方法及び製造管理の水準などに基づく固有の信頼度によっても大きく左右されます。このため半導体デバイスのディレーティングと信頼度との関係も、一筋なわけではいけません。

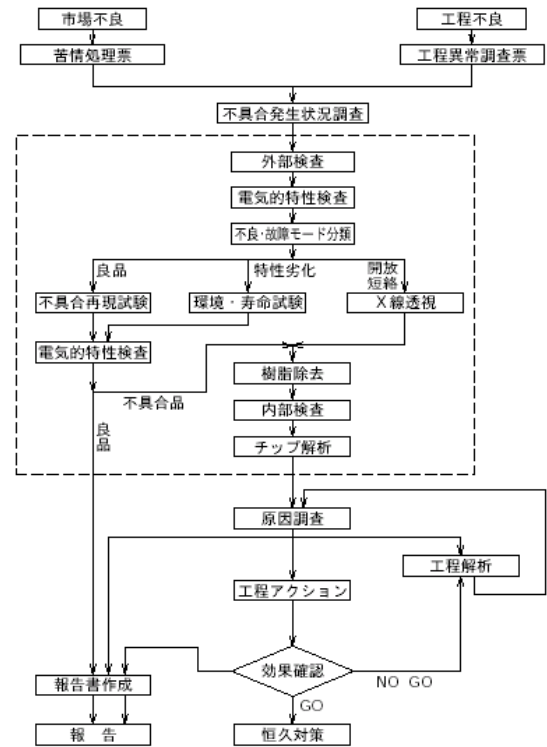


図10. 故障解析手順

表4. 故障解析の内容と設備

検査項目	検査内容	設備
外部検査	○ リード、めっき、はんだ付け、溶接部分の状態 ○ パッケージの欠陥 ○ はんだ付け性	実体顕微鏡 金属顕微鏡
電氣的特性検査	○ 電氣的静特性、電圧、温度マージン、動作特性の検査による開放・短絡及び特性劣化の調査 ○ 内部配線	シンクロスコープ カーブトレーサ 特性試験器 X線透過装置
内部検査	○ デバイスのパッケージを取り除き、内部構造を観察するチップの表面観察 ○ マイクロプローバによる電氣的特性のチェック ○ ホットスポット、異常など	金属顕微鏡 マイクロプローバ 走査電子顕微鏡 X線マイクロアナライザ
チップ解析	○ 内部検査でのチップ観察を補足するための解析 ○ チップ断面解析により、酸化膜、拡散、メタライズの解析	赤外線マイクロロスキャナ 分光分析装置

7. むすび

以上、電力用半導体デバイスであるパワーモジュールの一般的な信頼性の考え方、信頼性試験及びディレーティングと信頼度予測などについて簡単ですが紹介しました。

本文ですでに述べましたように、半導体デバイスの実用上での信頼度を高めるためには、半導体デバイスのもつ特質をよく把握するとともに、機器、セットに調和した半導体デバイスの選択を行うこと、また使用条件、環境条件面からディレーティングを十分考慮した余裕ある信頼度設計を行うことなどが、重要なキーポイントとなります。

機器、セットとしてのデバギングの実施や工程中あるいはフィールドのデータを解析し、それを設計、製造にフィードバックすることも見のがしてはならない重要な要因です。

このように、信頼度設計を行う上で検討すべき事項が多い現状ですが、品質、信頼性ならびに経済性も含めた総合的観点より細心の注意をもってうまく半導体デバイスを使用されることをおすすめします。

IGBTモジュールの使い方

IGBTモジュールの使い方

1. IGBTモジュールの特長（特性）

IGBTモジュールを正しく使用するために、その特長（特性）をよく知らなければなりません。以下にその重要な特長を示します。

(1) IGBTは電圧駆動形素子

IGBTは電圧駆動形素子ですが図1のように各端子間に容量をもっているため、ターンオンあるいはターンオフさせるには入力容量（Cies）に対する充放電電流が必要です。

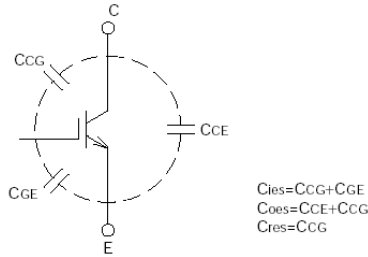


図1.

(2) IGBTは高速スイッチング素子

IGBTは高電圧、大電流を高速にスイッチング動作させるためターンオン時及びターンオフ時に非常に高いdi/dtとなり高いサージ電圧を発生させます。

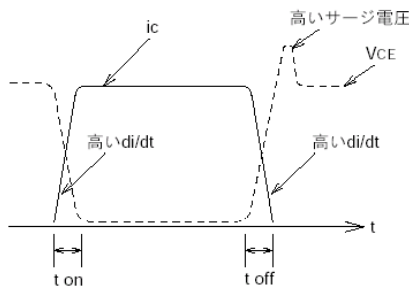
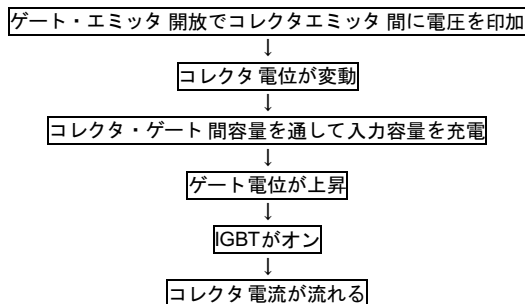


図2.

(3) ゲートは絶縁構造

IGBTは絶縁ゲートを有していますので静電対策が必要です。ゲート・エミッタ間に過大な電圧（±20V以上）を印加しないようにしてください。またゲート開放状態でコレクタ・エミッタ間に電圧を印加してはなりません。破壊に至るメカニズムは概略以下のとおりです。このオン状態は、ゲート・エミッタ間15Vを印加した場合にコレクタ・エミッタ間が飽和するときと異なり、高電圧がコレクタ・エミッタ間に印加された状態となりますので、少ない電流で熱破壊に至ります。



コレクタエミッタ間に印加される電圧が完全に静的な場合でも、オンに至るまでの期間が比較的緩やかになるだけで最終的には熱破壊に至りますのでご注意ください。

2. 静電破壊に対する注意事項

- (1) 運搬途中では、必ず導電スポンジ等でゲート・エミッタ端子間を短絡してください。また、素手では絶対にさわらぬようご注意ください。
- (2) 組立時には、使用機器や人体を接地してください。

3. ディレーティングについて

(1) 電圧定格

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）は、

$$\text{素子定格電圧} = \text{入力AC電圧} \times \sqrt{2} + \text{回生電圧増加分} + \text{サージ電圧} + \text{マージン}$$

で表され、一般に入力AC電圧と素子定格電圧との関係は表1のとおりとなります。

したがって、母線電圧としては、素子定格電圧の50～60%以下で使用されるのが望ましいということになります。内蔵のフリーホイールダイオード部にはIGBT部の定格と同一のものを使用しています。

表1. 耐電圧一覧

	入力AC電圧 (V)		
	180～220	380～440	480～575
素子電圧定格 (V)	600	1000～1200	1400
母線電圧(V)	300～400	600～800	750～900

(2) 電流定格

正常な通電状況下においては、通電電流のピーク値が、素子電流定格値以内でかつ接合温度も定格値以内であれば問題ないと考えられます。

一般的に、インバータの過負荷率は150～200%に設定されますので、この過負荷時に最大定格電流を通電するとした場合、定常電流は最大定格の50～60%程度とするのが望ましいこととなります。

また、カタログ記載のピーク電流値は、図3に示しますような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100ns程度）を含むピーク電流値を示すものとお考えください。

内蔵のフリーホイールダイオードは短パルスの電流を通電することを前提として設計しています。

一般的なインバータでは高効率のため、IGBTに比べてダイオードに対する通電率が低くなっています。従って、順電圧降下での制限をあまり受けず接合温度上昇も大きくありません。IGBTと同一か又はダイオード部の通電率が高くなるような応用（例：コンバータ制御）においては、現状のダイオードでは順電圧降下が大きいと定常損失がかなり増大しますので、実際の直流定格はカタログ記載値の1/2程度として考える必要があります。

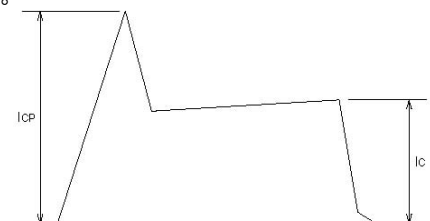


図3.

IGBTモジュールの使い方

インバータ応用における電流定格の選び方
(インバータ=AC3相誘導モータ制御装置)

素子の電流定格はインバータ容量から最大電流を算出し、その値で定められます。

- インバータ容量=モータ容量÷効率(0.7)
- 素子定格は、
ピーク電流= $\sqrt{2} \times$ インバータ容量×過負荷率
÷ $\{\sqrt{3} \times$ AC電圧(Vrms)×力率}

〈例〉

AC400V電源、30kWモータ制御用インバータに使用されるIGBTモジュールは？

- 電圧定格は表1から1200Vクラスが選ばれます。
- 電流定格は、過負荷率150%、力率0.9のとき
 $30(\text{kW}) \div 0.7 = 43(\text{kVA})$
 $\sqrt{2} \times 43 \times 1000 \times 1.5 \div \{\sqrt{3} \times 440 \times 0.9\} = 133(\text{A})$
従ってIGBTモジュールは1200V、150Aが使用可能です。

(3) 接合温度

接合温度は、長期的な信頼性やモータの過負荷時に最大接合温度になることなどを考慮して、定常時は最大定格の70~80%程度になるようにして使用することが望ましいと考えます。

4. 実使用上の注意事項

(1) 使用環境温度

-40~-55°Cでは、モジュールのチップ・ワイヤ保護のために充填されておりますシリコンゲルが硬化して結晶化するため、ワイヤが断線する恐れがあります。瞬時でも-40°C以下とならないようご注意ください。また、急激な温度変化は素子が絶縁破壊する場合があります。結露しないよう湿度にごご注意ください。モジュールは密閉構造ではありませんので、結露すると内部に水分が進入し素子破壊に至る恐れがあります。(充填シリコンゲルに吸湿性があります。)

(2) サージ電圧を抑制するよう配線長とスナバにご注意ください。(高速スイッチングのため、サージ電圧が出やすくなっています。) IGBTモジュールの場合、ゲート回路の出力部において、図4-1の斜線部にできる閉回路の生む面積が極力小さくなるように実装してください。

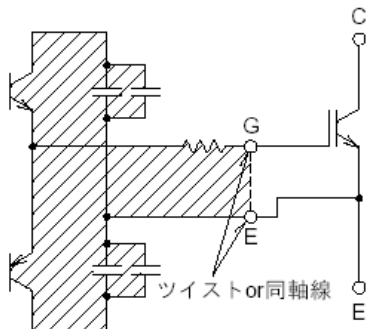


図4-1.

高速スイッチングをする場合、電力回路側の配線にもご注意ください

ださい。例えば図4-2のようにしてください。

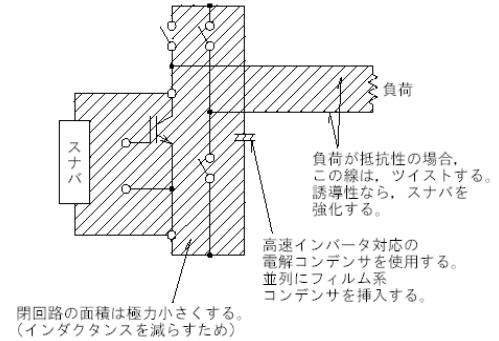
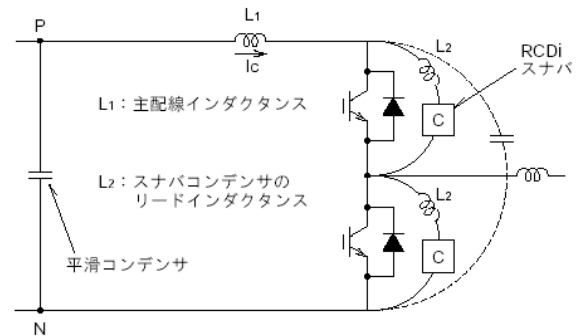


図4-2.

(3) ゲート・エミッタ間開放状態でコレクタ・エミッタ間に電圧を印加しないでください。

(4) スナバ回路例

IGBTモジュールにおけるスナバ回路を図4-3に、主配線インダクタンスの推奨設計値の参考例を次頁に示します。



スナバ回路の配線インダクタンスによるサージ電圧

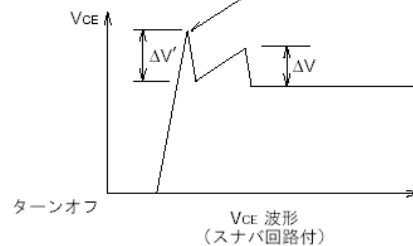


図4-3.

(5) その他

弊社IGBTモジュールではULに準拠した絶縁距離をとっていますが、一般的に高度が上がると気圧が下がるため、同じ空間距離に対する耐電圧は下がり、絶縁能力が低下してしまい空間距離が確保できないおそれがあります。また、高度が上がると、一般に宇宙線量が急増します。宇宙線が半導体に当たると一般に破壊することが知られており、突然死の可能性が高くなると考えられます。ただし、その確率に関するデータはありません。

IGBTモジュールの使い方

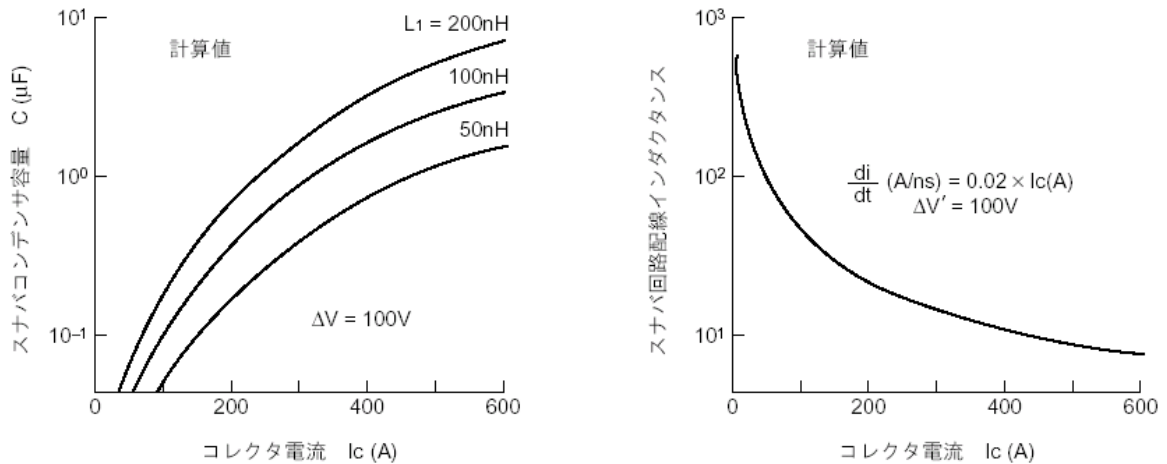


図4-4

推奨計算値

定格コレクタ電流	スナバコンデンサ容量 “C”	主配線インダクタンス “L1”	スナバ回路配線インダクタンス “L2”
15A~75A	0.2 μF ≦	<200nH	<70nH
100A~200A	0.8 μF ≦	<100nH	<20n
300A~400A	1.6 μF ≦	<50nH	<10nH
600A~	3.6 μF ≦	<50nH	<7nH

4.1 スナバ回路

(1) スナバ回路定数

ΔV' は、スナバ回路のインダクタンスL2のために吸収できない電圧（サージ電圧）です。つまり、ターンオフ時の di/dt × L2 で発生するターンオフサージ電圧です。Cs は次式により設定します。

$$\frac{1}{2} \cdot L1 \cdot (IOFF)^2 = \frac{1}{2} \cdot Cs \cdot (\Delta V)^2$$

$$Cs = \frac{L1 \cdot (IOFF)^2}{(\Delta V)^2}$$

並列接続の場合は各モジュール個々にスナバ回路をつけることを推奨します。並列による大容量化では各々素子に分割してスナバ回路を接続する方が一括スナバよりスナバ配線インダクタンス(L2)低減及び電流容量の面でより良い方法と考えます。

P-N間に過大なサージ電圧が発生している場合はP-N間にコンデンサが必要です。特に大容量素子では、P-N間にコンデンサと図5のスナバ回路の併用がよく用いられます。

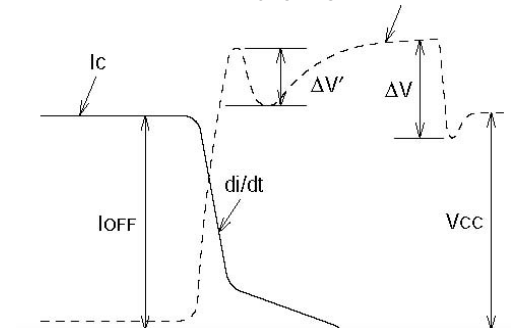
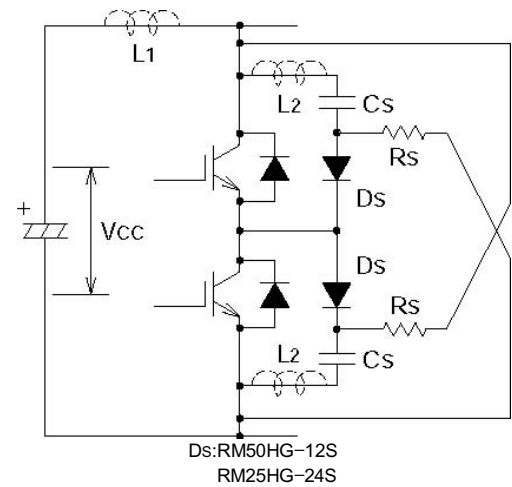


図5.

IGBTモジュールの使い方

(2) サージ電圧低減策

①主回路インダクタンス(L1, L2)の低減

- 50~200A (6,7素子入モジュール) : プリント基板実装
- 100A~600A (2素子入モジュール) : ブスバ配線
または平行板配線

②スナバ回路

- 50~150A (6,7素子入モジュール) : スナバ回路a
もしくはb
- 200~600A (2素子入モジュール) : スナバ回路c
またはa (各相に)
- 400A以上 (1素子入モジュール) : スナバ回路aおよびc (各相に)

各種スナバ回路

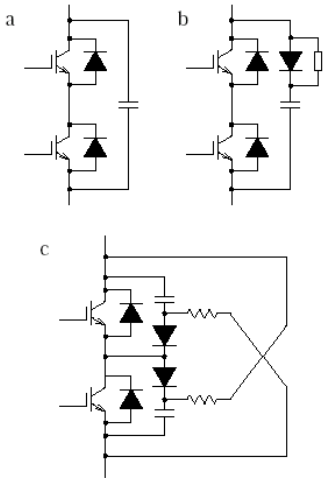


図6.

(3) 低インダクタンス電力配線例 (1素子入)

2枚の直流母線用導体と、1枚のモジュール間接続用導体を絶縁板をはさんで重ね合わせた配線を用います。重ねる順序は配線インダクタンスには影響ありません。この多層板とモジュールとの接続方法により、以下のようなものが考えられます。

①導体パイプをスペーサに利用する方法 (二層目との接続例)

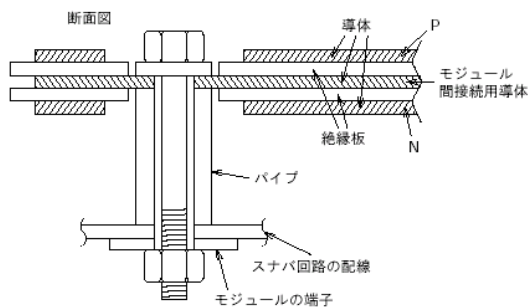


図7.

<三相フルブリッジを1つのユニットとする場合のレイアウト図>

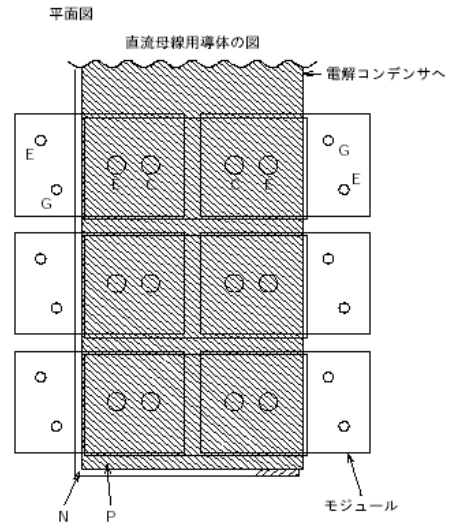


図8.

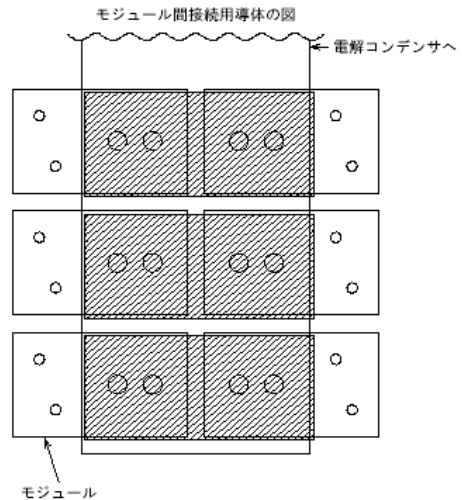


図9.

導体の重ね合わせ幅は、経験的に40mmから300mm程度と判断されます。

出力線はモジュール端子から、あるいは導体の側端に突起を設けそこから取り出します。(出力線のインダクタンスは通常問題にはなりません。)

省配線・低インダクタンス配線(ブスバー)メーカー例

古河電工 : 「パワーボード」 <http://www.furukawa.co.jp/index.htm>

ELDRE社 : 「Bus Bars」 <http://www.busbar.com/>

IGBTモジュールの使い方

②導体の端を突起させ、L字状に曲げて導体厚み分を吸収する方法
〈二層目との接続例〉

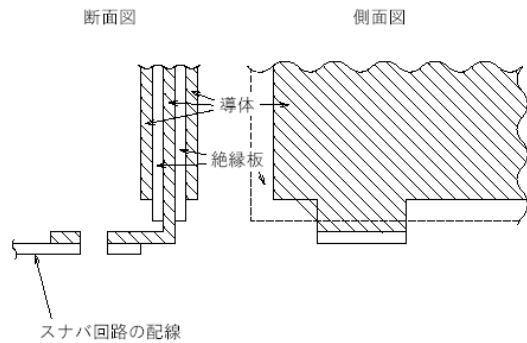


図10.

③導体の端を突起させ、クランク状に曲げて導体厚みを吸収する方法
〈二層目との接続例〉

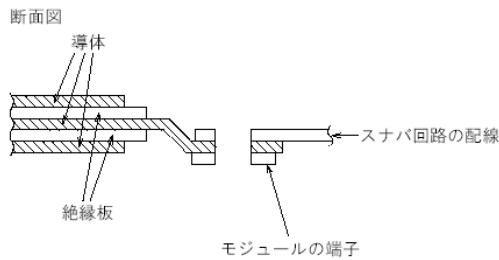


図11.

〈横方向への連続例〉

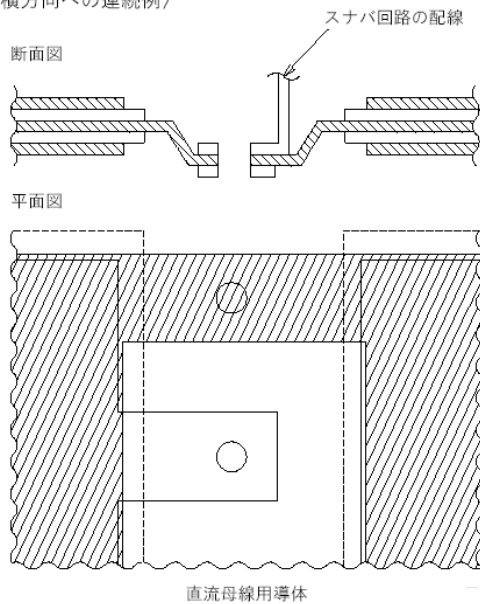


図12.

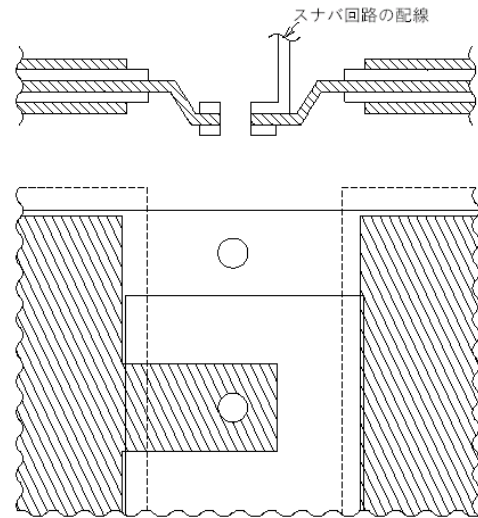


図13.

〈薄い導体多層板の併用例〉

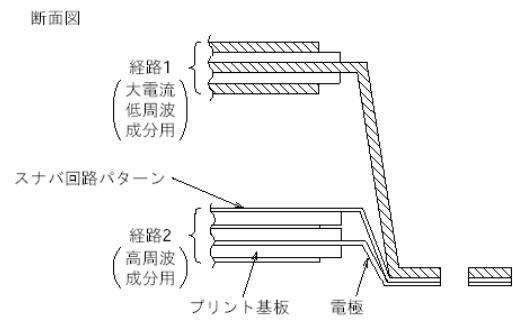


図14.

参考……CE間スナバ回路の配線例〈N側の例〉

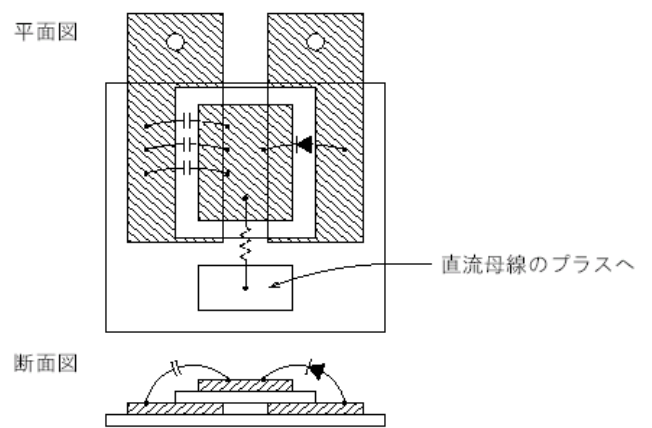


図15.

※板配線上にリード端子付きコンデンサなどを接続する場合、端子への応力印加による断線に注意が必要です。

IGBTモジュールの使い方

4.2 推奨駆動条件

(1) 駆動回路設計について

ゲート・エミッタ間電圧がオン時には、 $15V \pm 10\%$ 、オフ時には $-5V \sim$ マイナス定格電圧の範囲で、モジュール外部のノイズによりオンしないだけの逆バイアス電圧を印加してください。駆動回路とモジュールのゲートの間には、ゲートへの充電電流を制限するゲート抵抗を挿入します。ゲート抵抗の下限は、後述のターンオフスイッチングSOA記載の下限値です。ゲート抵抗の上限は特にありませんが、ゲート抵抗が大きい程

- ・スイッチング損失（時間）が増加する
 - ・活性動作が長くなりゲート電圧が発振し易くなる
- (R_G を小さくしたときに顕著となるリングングとは別)

ため、一般には下記標準ゲート抵抗の10倍程度までとなります。標準ゲート抵抗は

600Vクラス……………625 ($\Omega \cdot A$)/定格コレクタ電流 I_C (A)
1200Vクラス……………313 ($\Omega \cdot A$)/定格コレクタ電流 I_C (A)
としています。(一部の機種を除きます)

IGBTモジュールのゲート駆動回路設計のキーポイントはゲート電圧、ゲート抵抗及び配線です。ゲート回路の基本形を下図に示します。

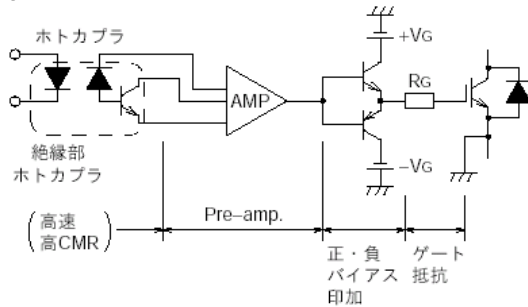


図16.

駆動回路設計上の注意

($C_{ies} > 10nF$, $V_{CES} = 600V$ のIGBTモジュールの駆動)

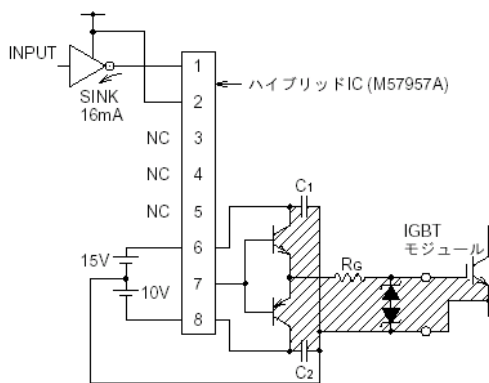


図17-1

ブロック図 (M57958L)

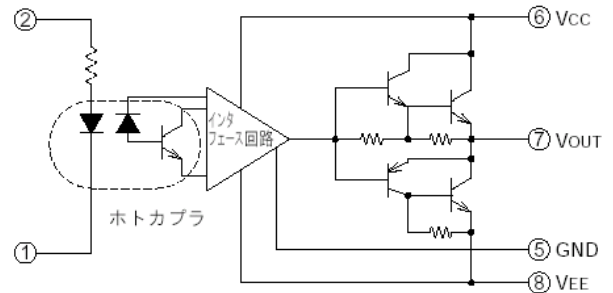


図17-2.

M57962AL応用例

並列接続に適用する場合、下記回路例のようなバッファ回路が必要になります。

応用上の注意事項

a. C1及びC2には、220 μ F以上の低インピーダンス（スイッチング電源用）アルミ電解コンデンサをご使用ください。

b. バッファ用トランジスタには、TO-220パッケージの5Aピーク以上のものを使用してください。

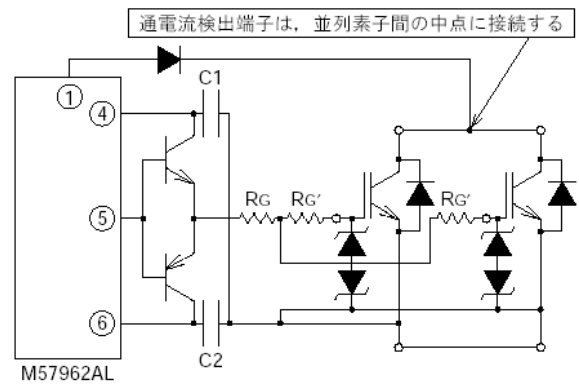
(ピーク電流値は、実測または計算から求めます)

ピーク電流算出計算式

R_G : 主ゲート抵抗, R_G' : 並列時発振防止抵抗

$$I_{Gpeak} = \frac{(+V_{GE}) + (-V_{GE})}{R_G + (R_G' / 2)}$$

c. 過電流検出端子①は、並列接続したIGBTのコレクタ端子の中点に接続してください。



M57962AL 並列応用時の接続例(概要)

図18.

<設計のキーポイント>

- ① IGBTの短絡耐量と電力損失とのトレードオフによりゲート電圧は、 $+V_{GE} = 15V \pm 10\%$ 、 $-V_{GE} = 5 \sim 10V$ に選びます。
- ② 入力ゲート容量はIGBTの電流定格に比例しますので大容量IGBTでは充放電電流のピーク値は数A必要となります。
- ③ R_G はサージ電圧 ($\propto di/dt$) とスイッチング損失とのトレードオフで最適値を選びます。 R_G は $V_{CE(sat)}$ に全く影響しません。
- ④ ホトカプラは高CMR（高dV/dt耐量）のものを使用してください。また、一、二次間パターン配線による浮遊容量を無くしてください。
- ⑤ ゲート回路の閉回路面積は誘導ノイズを受けないようにできる限り少なくしてください。

IGBTモジュールの使い方

(2) ゲート電圧について

オンするのに必要な推奨駆動電圧は従来同様15V±10%です。また、いかなる場合でも定常オン時の駆動電圧は12V~20Vの間でなくてはなりません。ただし、16.5V以上で短絡が発生すると、短絡耐量が期待できなくなる場合があります。13.5V以下が継続すると $V_{CE(sat)}$ 増加により熱破壊する場合があります。ゲート電圧が低下した状態でスイッチングを継続しないように対策を取ってください。IGBTには一般に他のIGBTのスイッチングに伴って発生する dv/dt によりIGBTがオンしてしまうを防ぐため、オフ時には逆バイアス駆動などを行う必要があります。しかし、トレンチIGBTは一般用に用いられるプレーナ構造のIGBTと比較して入力容量に対する帰還容量の比が小さいため、 V_{GE} が持ち上げられ難く、より少ない逆バイアスに設定することが出来、Fシリーズでは最小-2V程度まで低減可能です。ただし、NF/Aシリーズでは、埋込みセル構造を採用しているため逆バイアス電圧は最小-5Vまでとしてください。より小さい逆バイアス電圧にすると、駆動電力の低減やスイッチング駆動レスポンスの向上に効果があります。ただし、より小さい逆バイアス電圧はターンオンを速め、ターンオフを遅くするためデッドタイムに対しては厳しくなります。

① 正のゲート電圧 (+ V_{GE})

正のゲート電圧は図19-1の出力特性をカーブに示しますように飽和電圧に影響を与えます。 V_{GE} が高いと $V_{CE(sat)}$ および E_{on} は低減されますが短絡保護を容易にするために+15V±10%が最適な値です。

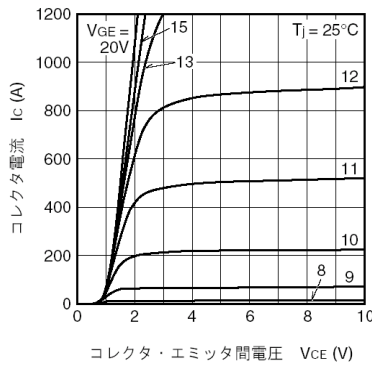


図19-1. 出力特性

② 負のゲート電圧 (- V_{GE})

負のゲート電圧は各特性への影響は少なくなります。図19-2にスイッチング損失と $-V_{GE}$ との関係データを示しますので、最小限 $-V_{GE}=5V$ を考えればよいです。一方、ゲートにはサージ電圧が重畳されるのであまり大きな負ゲート電圧を印加しますと $-V_{GE}$ の耐電圧を越えることがあるため、 $-V_{GE}$ の最適値は5~10Vを考えればよいです。

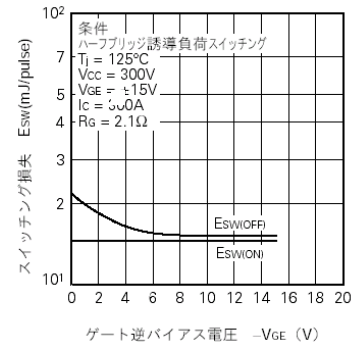
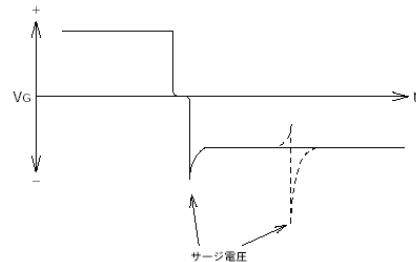


図19-2. スwitching損失のゲート逆バイアス電圧依存性

2素子入をブレーキ用として使用される場合、600Vクラスは一般的にはゲート・エミッタ間を端子近傍で短絡すれば dv/dt による誤点弧を防止可能です。ただし、実機にて使用しないIGBTのゲート・エミッタ間の電圧を観測し、誤動作の恐れがないことをご確認願います。1200Vクラスはゲート・エミッタ間短絡だけでは誤点弧(ゲート・エミッタ間電圧がしきい値電圧を超える)の恐れがありますので逆バイアス電圧が必要です。



R_G は図19-3、図19-4に示しますようにスイッチング時間やスイッチング損失に大きく影響を与えます。つまり、 R_G が小さい程スイッチング時間は短くなり、スイッチング損失は低くなります。一方で R_G が小さくなると、 t_r や t_f が速くなりますのでスイッチング時の di/dt が高くなりサージ電圧が高くなります。従って、 R_G はスイッチング損失とサージ電圧から最適な値を選定する必要があります。この値は使用者(使用条件)によって異なります。NFシリーズは従来のプレーナIGBTと同様の駆動回路を使用することが出来ます。当社のIGBTモジュールは通常 R_G の下限値を提示しており、この下限値から10倍までの範囲内で最適値を選定ください。

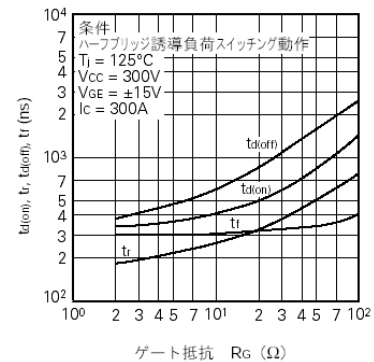


図19-3. スwitching時間のゲート抵抗依存性

IGBTモジュールの使い方

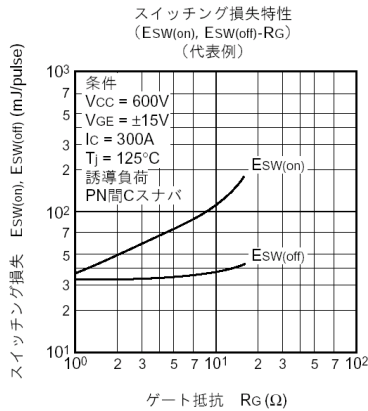


図19-4. スイッチング損失のゲート抵抗依存性

(3) ゲート駆動回路設計例

±V_{GE}及びR_Gが決定されると駆動回路のゲート電流ピーク値及び必要な駆動電力は以下のように計算されます。

① 平均電流 (駆動回路による消費分を除く)

平均駆動電流 (Typ.) = $Q_G(-10V \rightarrow +15V) \times f_c \approx 1.3 \times Q_G \times f_c$
 Q_G : 全ゲート電荷 (V_{GE}=0→15V)
 f_c : スイッチングキャリア周波数

注) IGBTのV_{CE}=0V時には、 Q_G が通常動作時の約15%upとなります。

② ピーク出力電流

$$I_{Gpeak} = \frac{(+V_{GE}) + (-V_{GE})}{(\text{外付け}R_G) + (\text{モジュール内蔵}R_G)}$$

注) 実際には、駆動回路の遅れや駆動線のインダクタンス等によるI_Gの立ち上がり遅れにより計算値の60~80%となります。

IGBTのターンオン速度はゲート抵抗に良く反応しますが、ターンオフ速度はあまり反応しません。また、特に放射ノイズを低減したい場合にはターンオンだけを遅くしたい場合が多いと思われます。このように、ゲート抵抗の調整においてターンオン時とターンオフ時の最適値が異なることは良く起こります。このような場合のために、図19-5のような回路によってターンオンとターンオフのゲート抵抗を独立に調整できるようにしておくことが有効な場合があります。表1はNFシリーズのゲート抵抗の利用範囲を抜き出したものです。(ここにはない機種については、各機種の電気的特性を参照してください。)データシートのスイッチングに関する特性は基本的に最小ゲート抵抗条件にて規定しています。また、ターンオフSOAはこの抵抗範囲でのみ保証します。

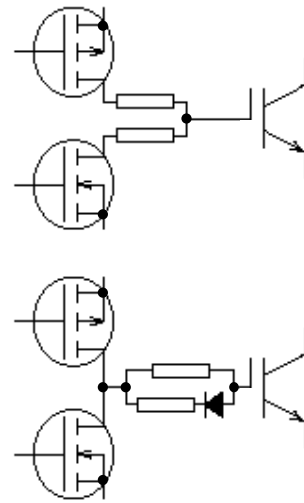


図19-5 ターンオンとターンオフの速度を別々に変える場合のゲート抵抗の接続

能動 (活性) 領域動作

三菱IGBTモジュールはスイッチング専用のため基本的に能動領域での停留動作 (オンとオフの中間でリニア動作させるような順バイアス動作) を保証していません。NFシリーズのIGBTは能動領域の増幅率が高いため能動領域での長時間停滞は発振の可能性が高くなります。ある種の特性測定で、ゲート電圧が3~11Vの範囲で長時間停留するような特性測定がありますが、このような測定はなるべく避け、どうしても必要な場合には測定系のインピーダンスに注意して発振しないようにしてください。V_{CE}を検知し、V_{GE}に帰還をかけることによりサージ電圧エネルギーをIGBTにて消費させるという回路方式がありますが、これも能動領域動作となるため破損する可能性があります。エミッタ回路に異常なループが形成され、IGBTに非常に強い負帰還がかかる場合がありますが、これも能動領域動作となることがあります。駆動エミッタ端子でなく主端子エミッタ端子にて駆動した場合もこれにあたる場合があります。

③ 駆動電力

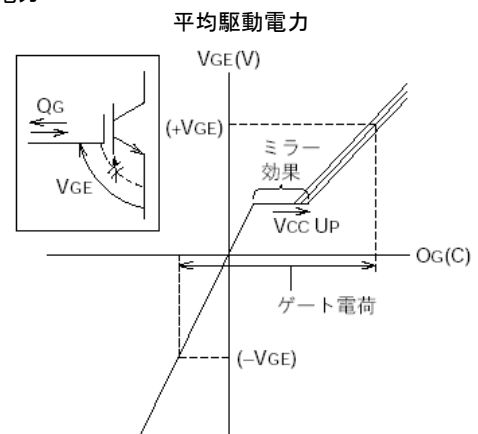


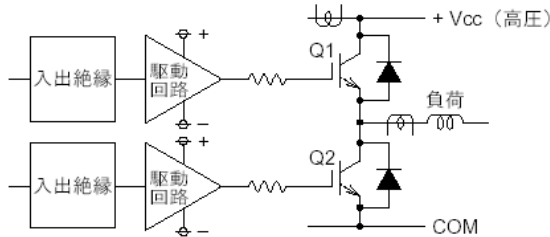
図20.

IGBTモジュールの使い方

平均ドライブ電力

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{T} \int V \cdot idt \\ &= (+V_{GE}) \frac{1}{T_1} \int idt + (-V_{GE}) \frac{1}{T_2} \int idt \\ &= (+V_{GE}) \cdot Q_G \cdot fc + (-V_{GE}) \cdot Q_G \cdot fc \\ &= ((+V_{GE}) + (-V_{GE})) \cdot Q_G \cdot fc \end{aligned}$$

(4)ブリッジ回路



- (a) ノイズ誤動作防止のため、オフ時には逆バイアスを印加してください。
- (b) ブリッジ回路のIGBTと駆動回路の絶縁は主回路の動作速度範囲 ($dV_{CE}/dt=DC \sim 10V/ns$ 程度) で回路誤動作が起こらないよう下記の点に配慮が必要です。
 - 一次側の制御回路と二次側のパワー回路の浮遊容量や相互インダクタンスによるクロストークができるだけ少なくなるよう配線設計する。
(低減不可の場合には、さらにシールドして、全て互いのグラウンドを結合する)
 - ホットカプラ絶縁方式の場合、使用ホットカプラは入出力間結合容量の少ないものを使用する。
(dV/dt 耐量 $15kV/\mu s$ 以上を推奨)
 - 誘導ノイズによる制御電源電圧の変動を防止するため制御ICにできるだけ近い所にカップリングコンデンサを入れる。

<例> 誤動作防止のためのゲート駆動回路配線例

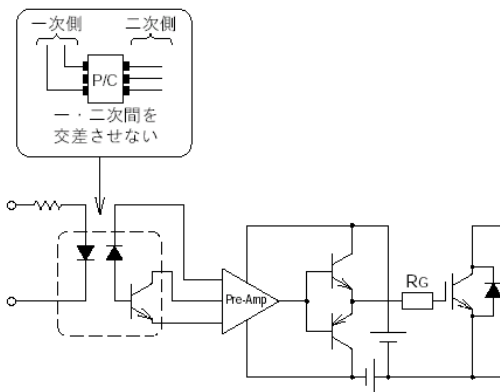


図21.

ゲート回路の配線上の問題

- ゲート発振の原因
- 誘導ノイズを受け易い

対策

- 出来る限り短い配線
- ツイスト線を用いる
- ワイヤレス化 (基板直結)
- 共通エミッタ配線をしない

- (c) アーム短絡防止のため駆動信号のシーケンスに上下アーム休止時間 (デットタイム; dead time) (約 $5\mu s$ 程度) を設けてください。
- (d) 過電流保護機能は、通常動作のリカバリ電流に反応しないように $5\mu s$ 程度の遅延回路を入れてください。
- (e) 大電流 (100A以上) では、下アームの駆動エミッタワイヤ還流電流による素子破損防止のためN側 (コモン側) も素子ごとに絶縁された駆動電源を用意してください。

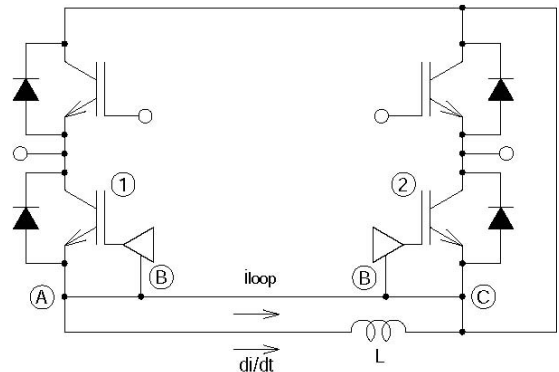


図22. 駆動電源のN側共通化における問題点

IGBT①のターンオン時の di/dt と直流母線の下アーム浮遊インダクタンス L により、 $-L \cdot di/dt$ なる電圧が発生し、このため、 \textcircled{A} 、 \textcircled{B} 、 \textcircled{C} の電位を各々 A 、 B 、 C とすると、 $A > B > C$ となります。

ゲート駆動は B を基準にしますから

$A > B$ により①はターンオンが遅くなる

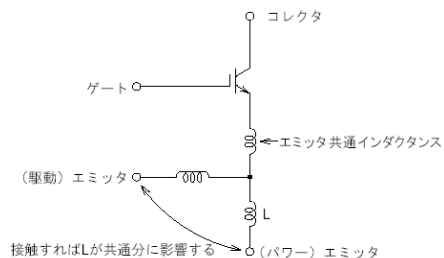
$C < B$ により②の V_{GE} が上昇する

$A > C$ により駆動エミッタ線に還流電流 i_{loop} が流れるという影響がでます。この影響は、コレクタ電流と L が大きいほど大きくなります。

(5) 主回路 (電力回路) の実装上の注意

エミッタ共通インダクタンス (主電流と駆動電流が共通して通過する配線のインダクタンス) が大きいとスイッチングが遅れることがあります。

素子近傍 (駆動エミッタ端子のあるものについては素子内部のみ) 以外での主回路と駆動回路の接触や近接は極力さけてください。



5. スwitching損失

スイッチング損失が最大となるのは、誘導負荷ハーフブリッジ動作を高温で行い、かつ配線インダクタンスが十分に小さい場合ですが、この場合のスイッチング損失の代表例を図23, 24, 25, 26, 27, 28, 29に示します。

測定条件

ハーフブリッジスイッチングモード (図30)

$T_j = 125^\circ C$, $V_{cc} = 300V(12NF)/600V(24A/24NF)$, $V_{GE} = \pm 15V$
 R_G : 表1 LOSS項参照

IGBTモジュールの使い方

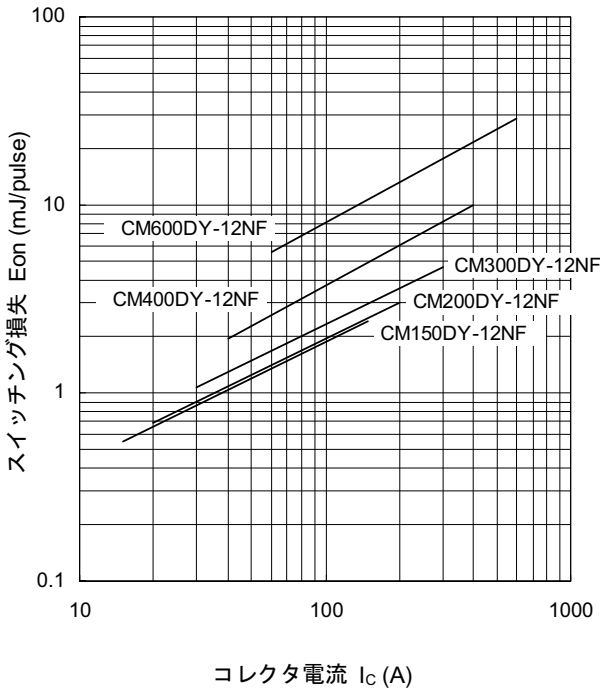


図23.1 ターンオンスイッチング損失

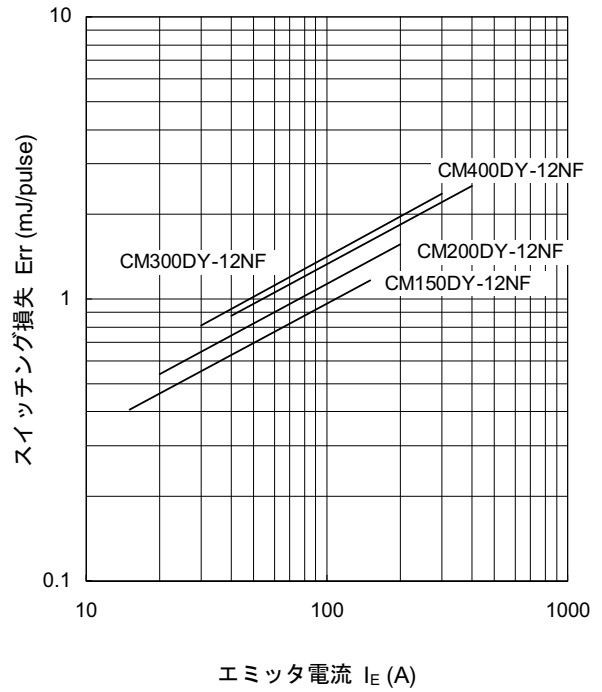


図23.3 逆回復損失

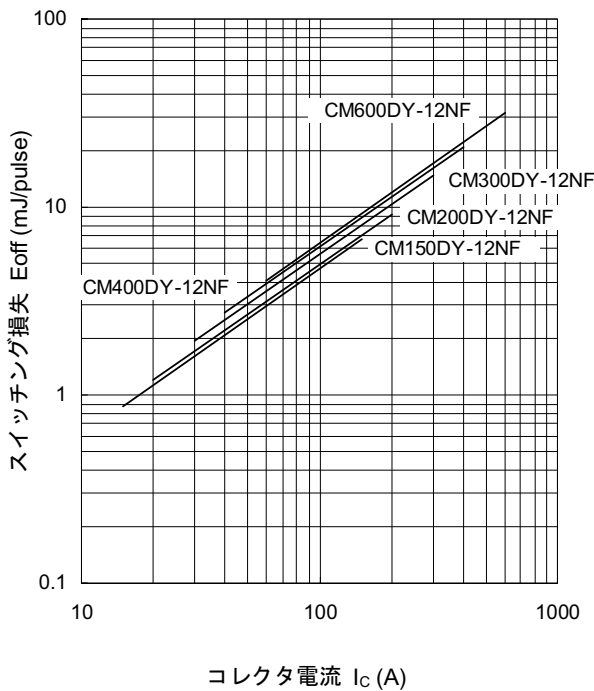


図23.2 ターンオフスイッチング損失

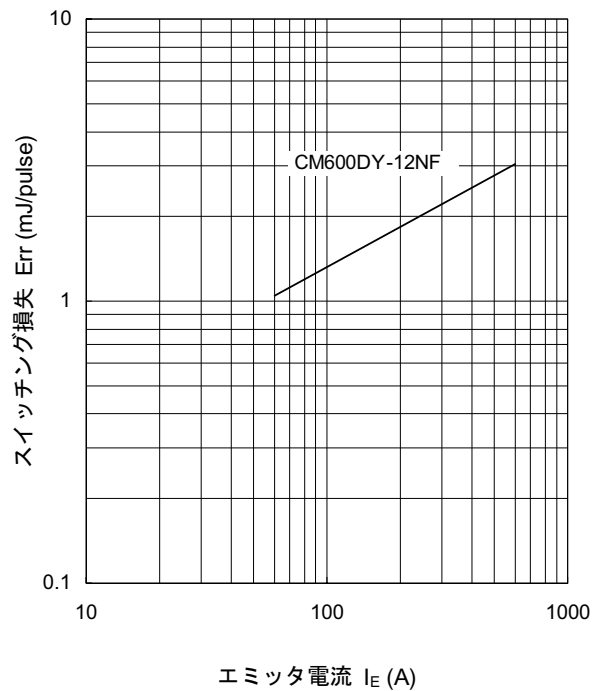


図23.4 逆回復損失

図23 ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 12NF-2素子入

IGBTモジュールの使い方

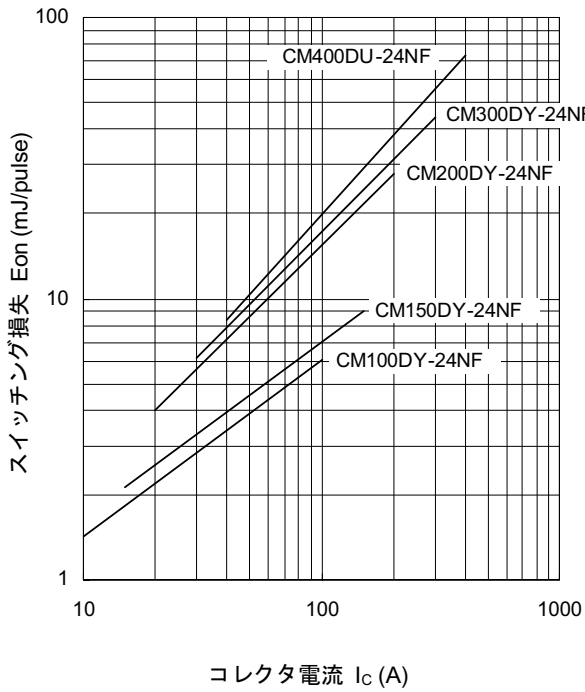


図24.1 ターンオンスイッチング損失

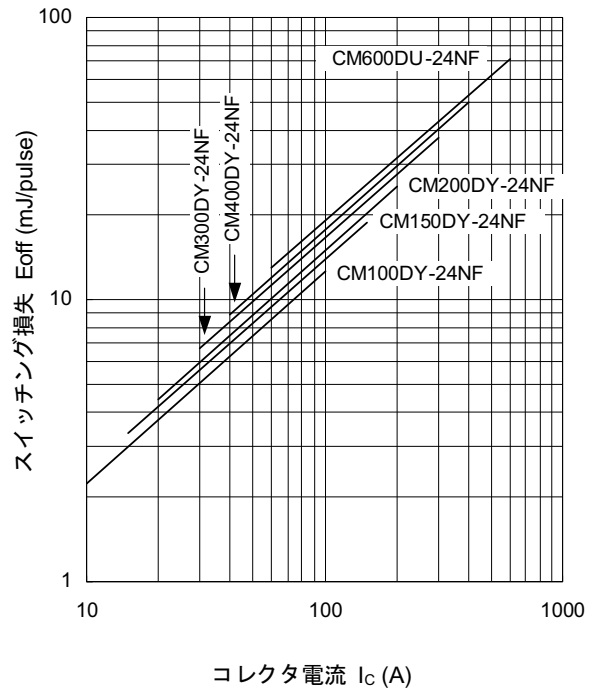


図24.3 ターンオフスイッチング損失

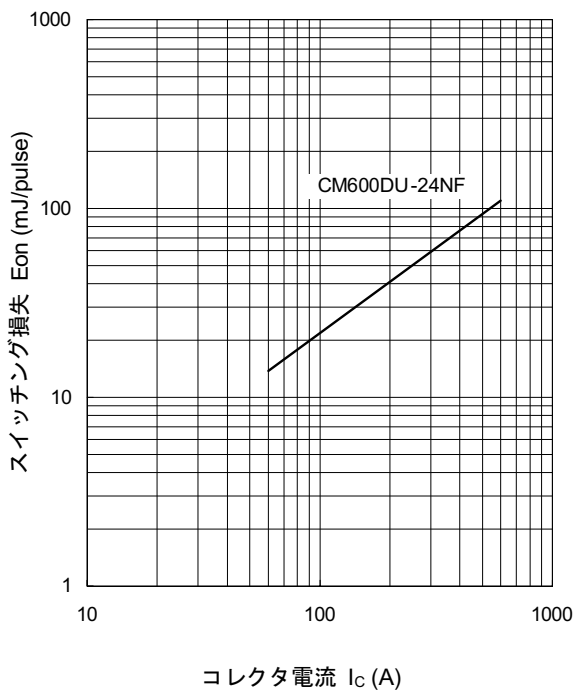


図24.2 ターンオンスイッチング損失

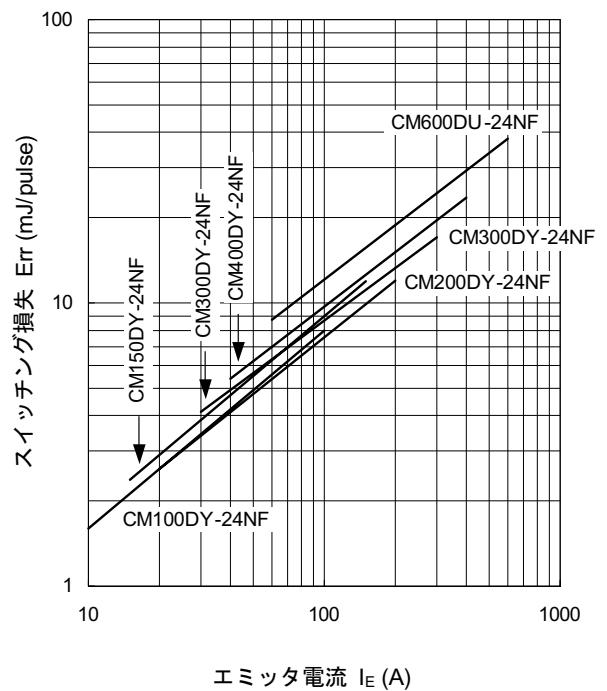


図24.4 逆回復損失

図24 ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 24NF-2素子入

IGBTモジュールの使い方

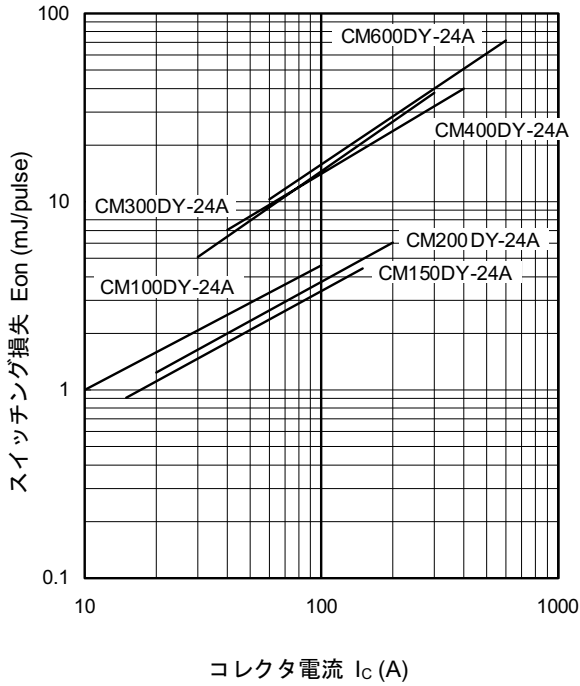


図25.1 ターンオンスイッチング損失

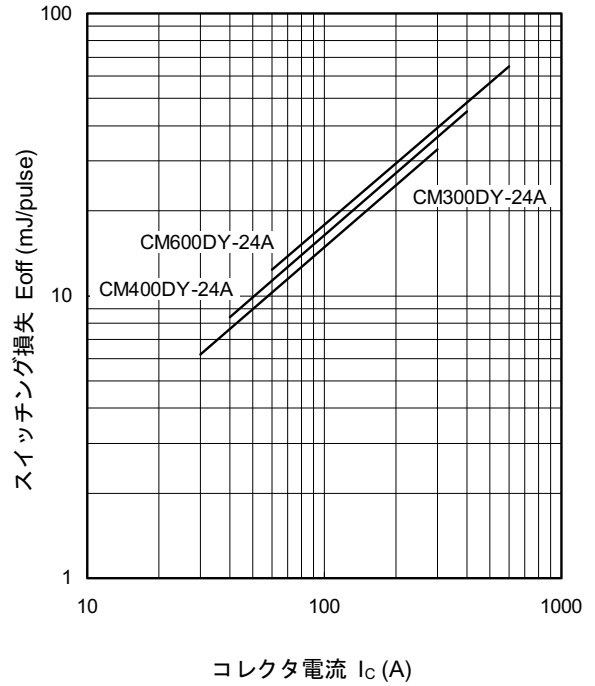


図25.3 ターンオフスイッチング損失

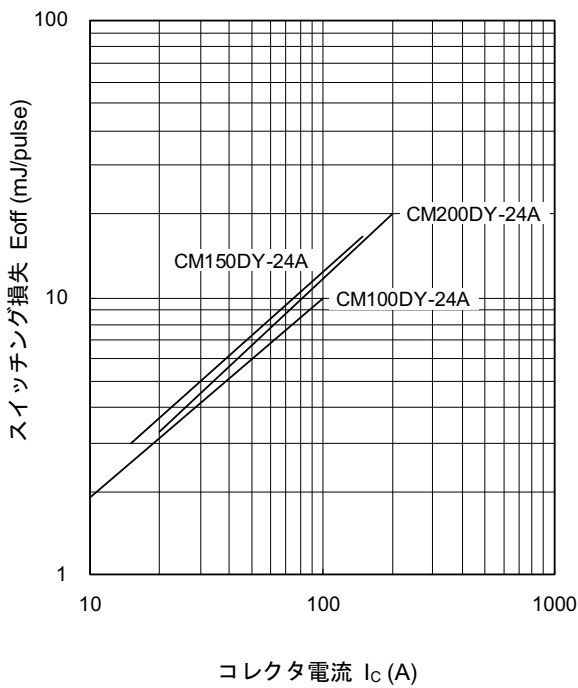


図25.2 ターンオフスイッチング損失

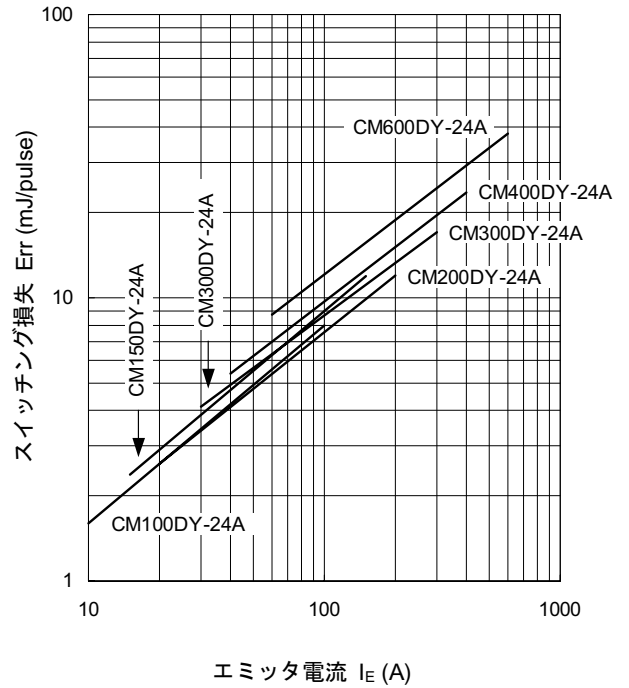


図25.4 逆回復損失

図25. ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 24A-2素子入

IGBTモジュールの使い方

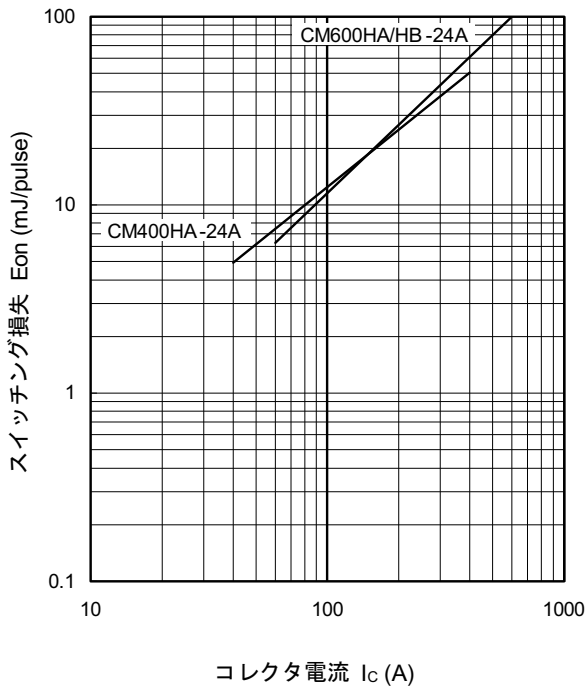


図26.1 ターンオンスイッチング損失

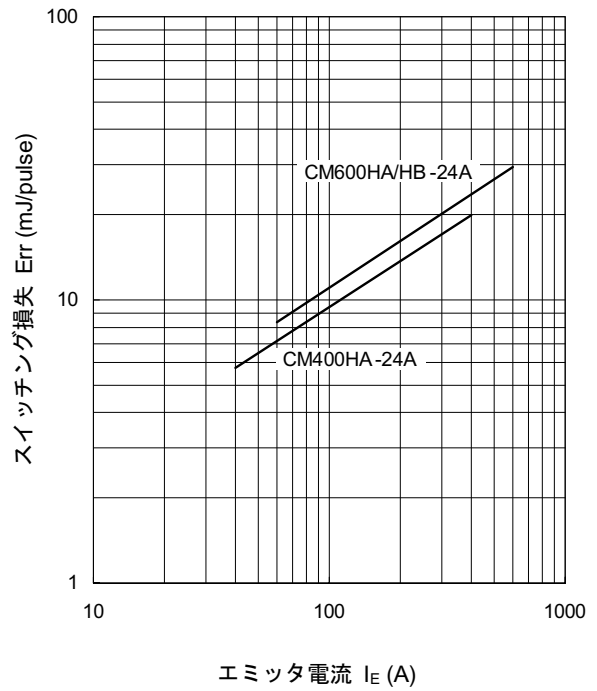


図26.3 逆回復損失

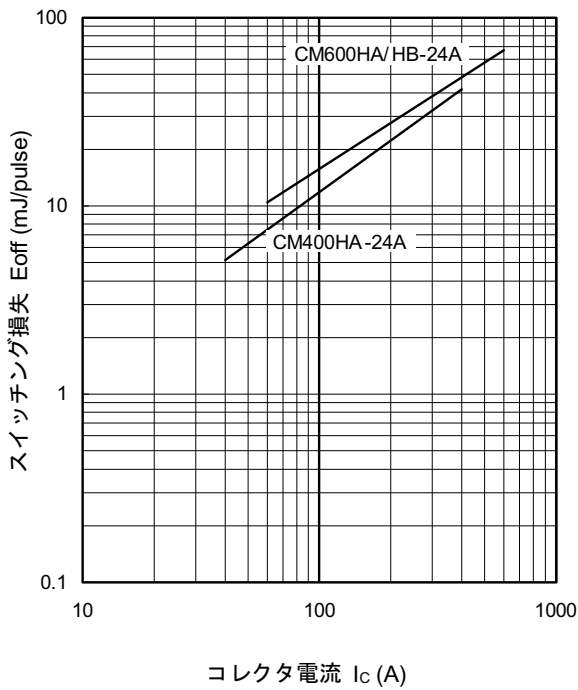


図26.2 ターンオフスイッチング損失

図26. ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 24A-1素子入

IGBTモジュールの使い方

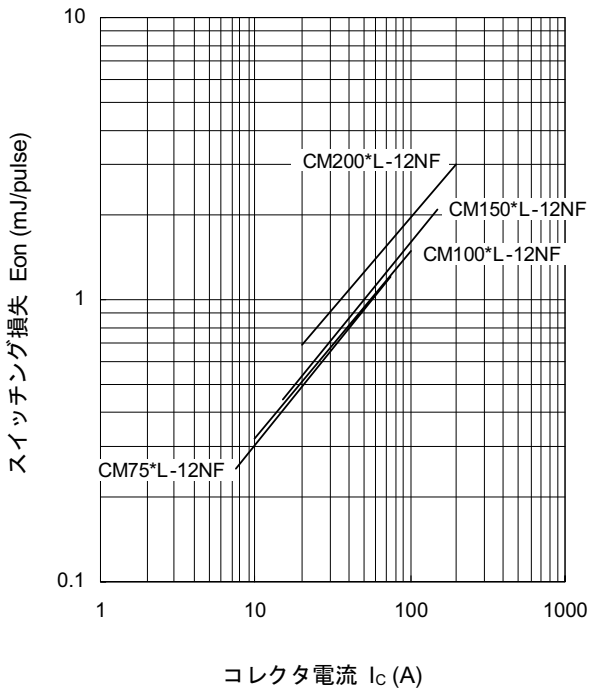


図27.1 ターンオンスイッチング損失

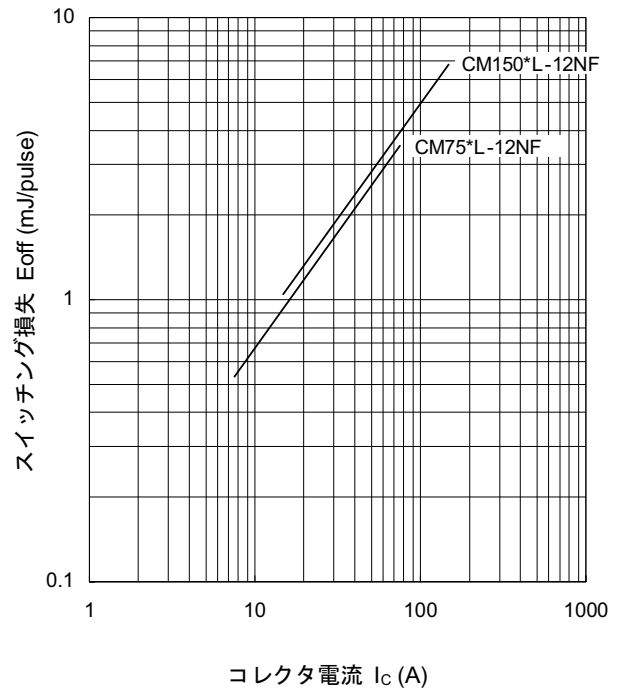


図27.3 ターンオフスイッチング損失

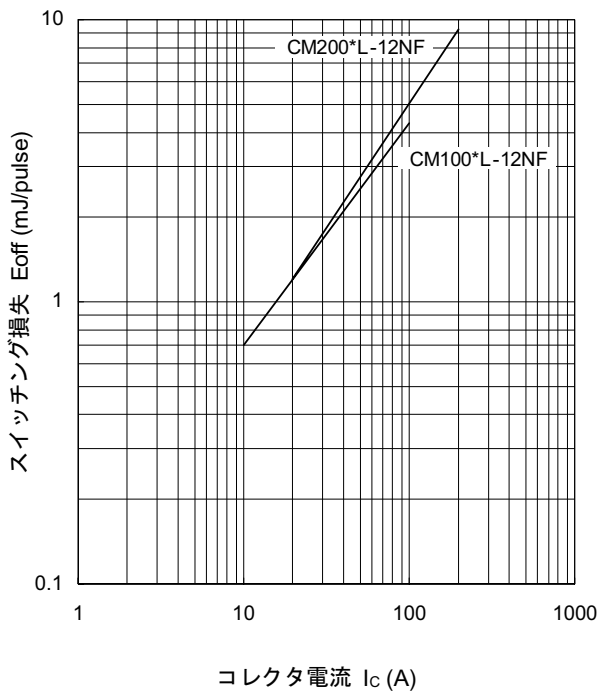


図27.2 ターンオフスイッチング損失

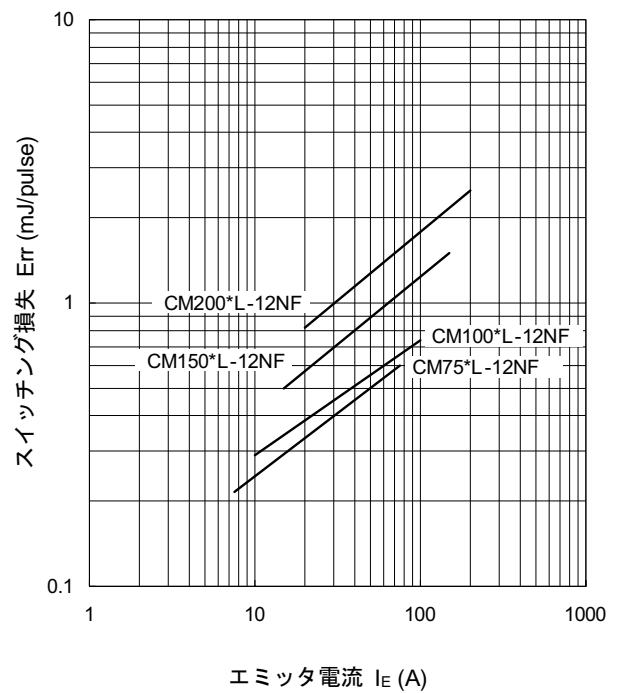


図27.4 逆回復損失

図27 ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 12NF-6素子入/7素子入インバータ部

IGBTモジュールの使い方

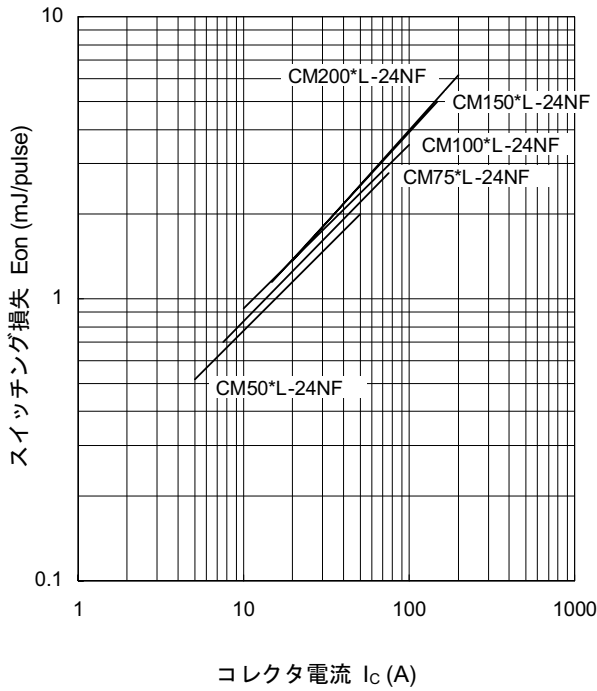


図28.1 ターンオンスイッチング損失

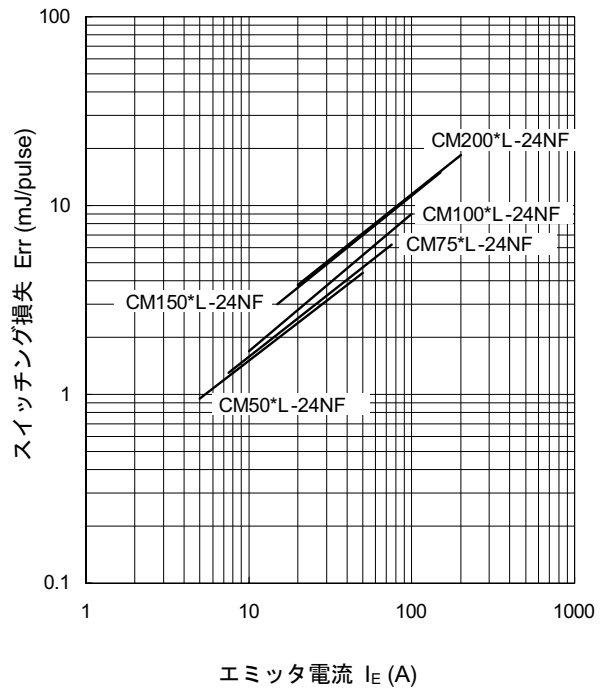


図28.3 逆回復損失

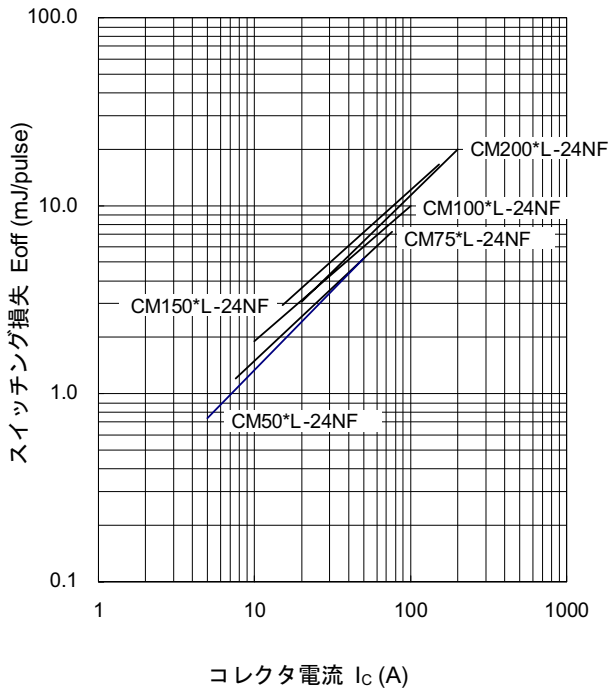


図28.2 ターンオフスイッチング損失

図28 ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 24NF-6素子入/7素子入インバータ部

IGBTモジュールの使い方

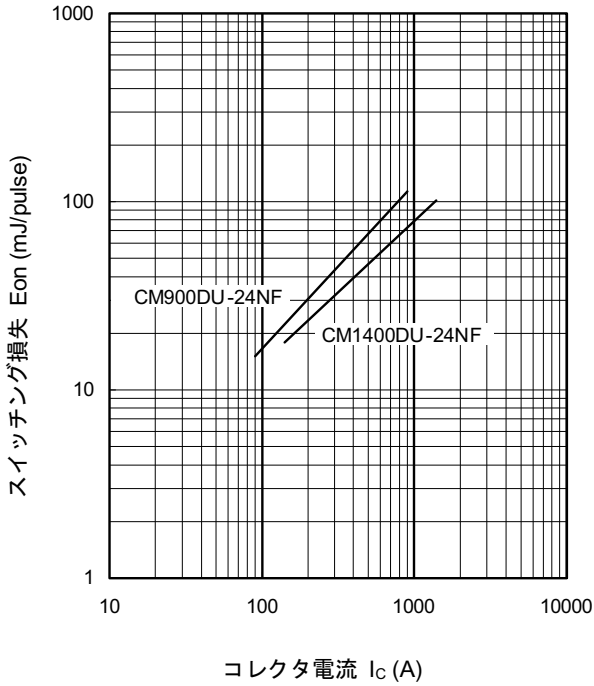


図29.1 ターンオンスイッチング損失

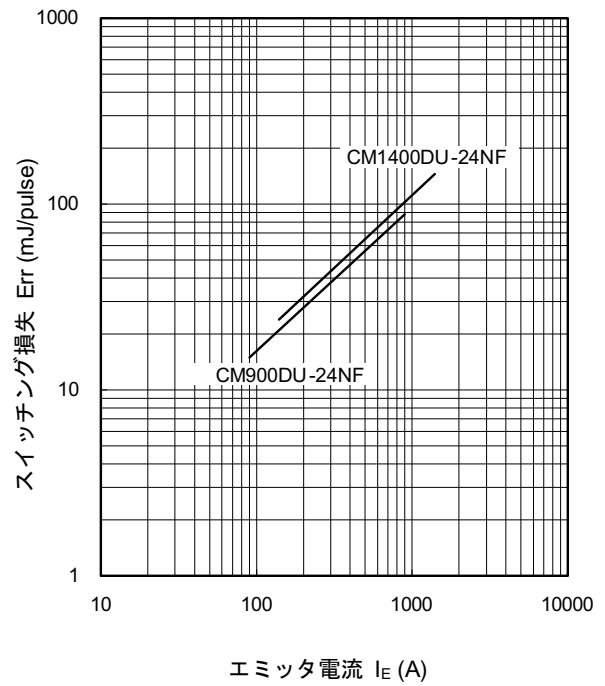


図29.3 逆回復損失

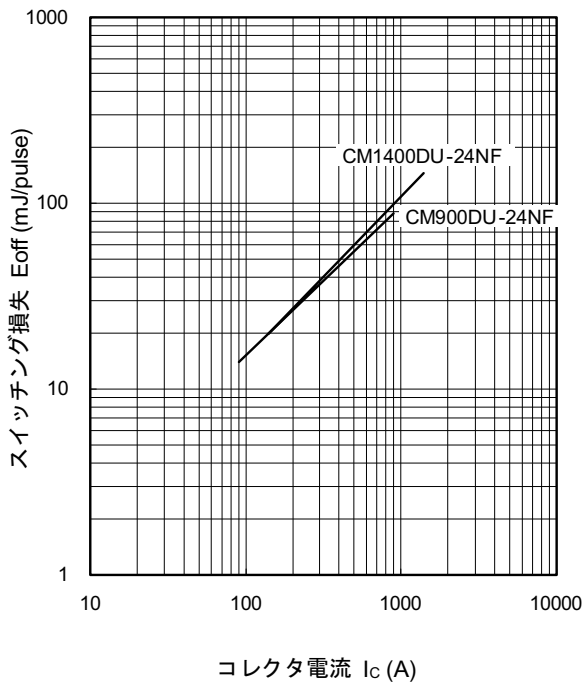


図29.2 ターンオフスイッチング損失

図29 ハーフブリッジ誘導負荷スイッチング損失 MPD

IGBTモジュールの使い方

表1. 外付けゲート抵抗の推奨範囲およびスイッチング損失測定条件 (LOSS)

形名	外付けR _G (Ω)	LOSS (Ω)	形名	外付けR _G (Ω)	LOSS (Ω)	形名	外付けR _G (Ω)	LOSS (Ω)
CM150DY-12NF	4.2~42	4.2	CM600DU-24NF	1.0~10	1.0	CM 75TL/RL-12NF	8.3~83	8.3
CM200DY-12NF	3.1~31	3.1	CM900DU-24NF	0.35~2.2	0.35	CM100TL/RL-12NF	6.3~63	6.3
CM300DY-12NF	2.1~21	2.1	CM1400DU-24NF	0.22~2.2	0.22	CM150TL/RL-12NF	4.2~42	4.2
CM400DY-12NF	1.6~16	1.6	CM100DY-24A	3.1~42	3.1	CM200TL/RL-12NF	3.1~31	3.1
CM600DY-12NF	1.0~10	1.0	CM150DY-24A	2.1~31	2.1	CM 50TL/RL-24NF	6.3~96	6.3
CM100DY-24NF	3.1~31	3.1	CM200DY-24A	1.6~21	1.6	CM 75TL/RL-24NF	4.2~63	4.2
CM150DY-24NF	2.1~21	2.1	CM300DY-24A	1.0~16	1.0	CM100TL/RL-24NF	3.1~42	3.1
CM200DY-24NF	1.6~16	1.6	CM400DY/HA-24A	0.78~10	0.78	CM150TL/RL-24NF	2.1~31	2.1
CM300DY-24NF	1.0~10	1.0	CM600DY-24A	0.52~7.8	0.52	CM200TL/RL-24NF	1.6~21	1.6
CM400DY-24NF	0.78~7.8	0.78	CM600HA/HB-24A					

※RLはインバータ部IGBTのみに適用

表2. 内蔵ゲート抵抗

形名	内蔵R _G (Ω)	形名	内蔵R _G (Ω)	形名	内蔵R _G (Ω)	形名	内蔵R _G (Ω)
CM400DY-12NF	0.8	CM200DY-24NF	3	CM900DU-24NF	1	CM600DY-24A	2
CM600DY-12NF	0.8	CM300DY-24NF	2	CM1400DU-24NF	0.67	CM400HA-24A	1.5
		CM400DY-24NF	2	CM300DY-24A	3	CM600HA-24A	1
		CM600DU-24NF	1.5	CM400DY-24A	2	CM600HB-24A	1

※上記機種はチップを並列使用しているためゲート抵抗内蔵となります。
内蔵ゲート抵抗の温度係数は25°C→125°Cで約2倍、バラツキは±30%

○ 6素子入および7素子入ゲート駆動回路用オス側コネクタ例

2極 (上アーム) : B2P-VH-FB-B

8極 (下アーム) : B8P-VH-FB-B

日本圧着端子製造株式会社 製

ホームページ : http://www.jst-mfg.com/index_j.html

○ 空き端子の処理

6素子 (TLタイプ) は外観上ブレーキ端子が付いていますが、モジュール内部ではこの端子には何も接続されていません。この端子にパターンを接続することは不可能ではありませんが、接続するとこの端子を経由してノイズがモジュール内部に侵入する恐れがあります。この端子はオープンのままにすることを推奨します。

○ 2素子入モジュールゲート・エミッタ制御端子 (オス側)

100A~600A,600Vクラスなどのゲート・エミッタ制御端子には、Tyco Electronics AMP社のFASTON™ #110相当の形状、ニッケルメッキタブ端子を採用しております。

ハーネス接続には、#110タブ用のリセクタブル端子 (メス側) をご使用ください。

ただし、ポジティブロックなど抜け防止機能には対応していません。

表2. #110タブ用リセクタブル端子例

メーカー	形名 (例)	材質
日本圧着端子製造株式会社	STO-01-110N, STO-41-110N	黄銅
タイコエレクトロニクスアンブ株式会社	170043, 170048	黄銅およびリン青銅
株式会社ニチフ	OSS(CSS)62852-F3,62851	黄銅

ホームページ : AMP : <http://www.amp.com/>

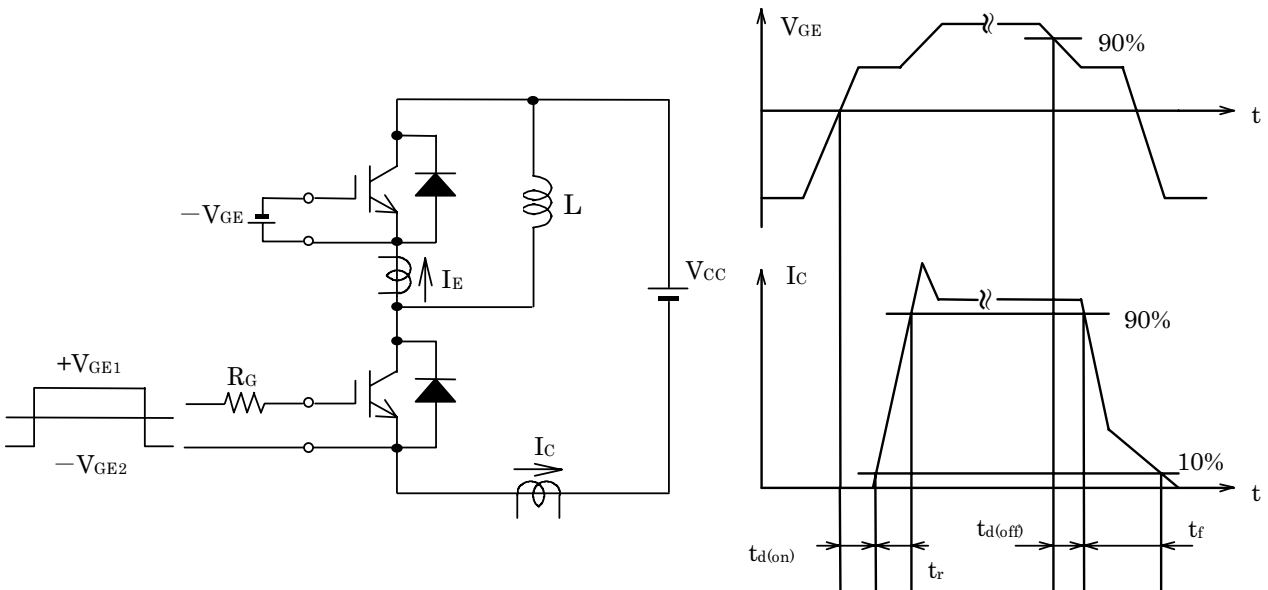
(Tyco : <http://connectors.tycoelectronics.com/>)

ニチフ : <http://www.nichifu.co.jp/>

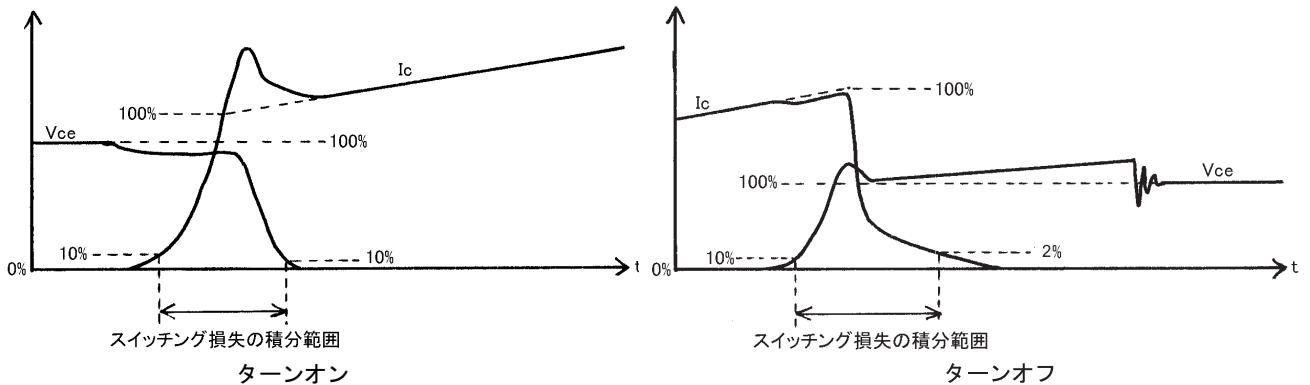
IGBTモジュールの使い方

図30 測定回路と波形

■ハーブリッジスイッチング特性測定回路と波形



■スイッチング損失の積分範囲



各々の10%および2%を決定するための100%はFWDiのリカバリ電流や負荷の浮遊容量などに起因する電流、浮遊インダクタンスによるサージ電圧や電圧降下を含めません。V_{CE}の100%はV_{CC}です。

注：同補正は範囲の設定のみに対して行いますので、これらに起因する波形変化によるスイッチング損失への影響は、そのままスイッチング損失に反映されます。また、積分値には、無効電力分は分離不可能なため含まれます。

厳密には、I_Cの0%はI_C=0AではなくI_{CES}、V_{CE}の0%はV_{CE}=0VでなくV_{CE(sat)}となります。

配線インダクタンスに起因する振動が十分に取除けない場合は、振動の中心を推定した線に基づいて範囲が決定されます。ただし、同推定が困難な場合には、範囲の最も内側で10%と交差した時点とすることがあります。

IGBTモジュールの使い方

6. 並列接続

(1) 並列仕様

以下の並列仕様は、定格電流200A以上の1素子入および2素子入のモジュールについてのみ対応いたします。

また、IGBTモジュールを並列接続にてご使用される場合に限り適用可能です。

●ご注文時に並列数をご指定いただいた場合には、並列数分ごとに下記の $V_{CE(sat)}$ 同一ランクにそろえて納入いたします。
(ランク指定はご遠慮ください)

● $V_{CE(sat)}$ ランク (G, H, J等) は銘板に表示いたします (表示例は、8頁参照)。

表2. NF/Aシリーズ並列仕様の $V_{CE(sat)}$ ランク分類 (I_C = 定格値, V_{GE} = 15V, T_j = 25°C)

12NF				24NF		24A	
ランク記号	$V_{CE(sat)}$ (V)	ランク記号	$V_{CE(sat)}$ (V)	ランク記号	$V_{CE(sat)}$ (V)	ランク記号	$V_{CE(sat)}$ (V)
E	1.50~1.60	K	1.75~1.85	C	1.62~1.81	D	1.76~1.96
F	1.55~1.65	L	1.80~1.95	D	1.76~2.00	E	1.92~2.16
G	1.60~1.70	M	1.90~2.05	E	1.95~2.26	F	2.12~2.41
H	1.65~1.75	N	2.00~2.20	—	—	G	2.37~2.69
J	1.70~1.80	—	—	—	—	H	2.65~3.00

(2) 並列接続の注意

並列接続ごとに並列数分を同一 $V_{CE(sat)}$ ランクのもので接続ください。

同一装置内に多種のランクが混在していても、並列接続ごとにランクが同一であれば問題ありません。

並列接続されるモジュール間のコレクタ電流の不均衡率は600Vクラスで±10%、1200Vクラスで±15%です。

不均衡率は2素子の並列にて定義されるものです。並列数の増加に伴い、1素子にコレクタ電流が集中し易くなりますので、並列数に応じてディレーティング量を設定する必要があります。(図31参照)

n個を並列接続したときのディレーティング量(低減量)は、不均衡率を±x%/100とすると

$$(1 - ((n-1) \times (1-x)/(1+x) + 1)/n) \times 100\%$$

となります。

例えば、600VクラスのIGBTモジュールを4並列とした場合、

$$(1 - ((4-1) \times (1-0.1)/(1+0.1) + 1)/4) \times 100 = 13.6\%$$

ですから、仮に定格電流が1素子あたり300Aとすると、4並列では

$$300 \times (1 - 0.136) \times 4 = 1036A$$

となります。

ただし、ランクをそろえれば静的にはそろいますが、スイッチングの瞬間のアンバランスには効果がありません。

高速スイッチング素子のスイッチングの瞬間のアンバランスは素子外部の配線インダクタンスバランスに支配されますので、インダクタンスの低減と対称性にご留意ください。

並列接続数 n	ディレーティング量 (%)	
	600Vクラス	1200Vクラス
2	10.0	15.0
3	12.1	17.4
4	13.6	19.6

●故障対応での部品交換は、類焼の可能性が大きいので、少なくとも並列接続分は全て交換することを推奨いたします。また、アンバランス率の改善のため同一ロットでの組み合わせを推奨いたします。

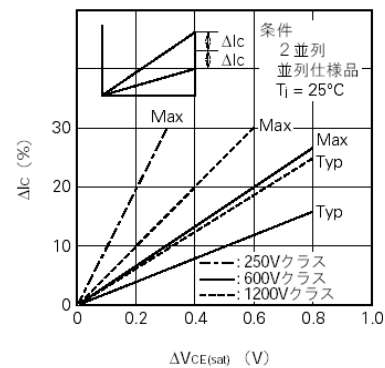


図31. 不均衡率 (IGBTモジュールの並列運転時)

(3) 電流分流アンバランス要因と注意点

①素子特性

a) $V_{CE(sat)}$ の差

定常時 ($di/dt=0$) にアンバランスを生じる。

(図32, 図34参照)

b) 温度の差

定常時 ($di/dt=0$) に $V_{CE(sat)}$ の差が生じ、アンバランスを生じる。(図32, 図34参照)

ターンオン・オフ時のスイッチング速度が異なり、アンバランスを生じる。(図33, 図35参照)

注) 瞬時のアンバランスのため、損失的アンバランスは小さい。

●同一 $V_{CE(sat)}$ ランクの素子をご使用ください。

●熱的外部要因(放熱性の違い)をなくすようにご留意ください。

②配線

a) 主回路配線

a-1) 電源素子間インダクタンスの差

ターンオン・オフ時に、アンバランスを生じる。

(図33, 図35参照)

a-2) 負荷を含むトータルループの差定常時 ($di/dt \neq 0$) にアンバランスを生じる。(図38, 図36参照)

IGBTモジュールの使い方

●スイッチング時、又は $di/dt \neq 0$ のアンバランスは、素子外部のインダクタンスバランスに支配されるため、インダクタンスの低減と対称性にご留意ください。

b) ドライバ配線

b-1) ドライバ素子間配線の差ターンオン・オフ時のドライブ速度が異なり、アンバランスを生じる。

(図33, 35, 37参照)

b-2) ドライバ出力のインピーダンスの差ターンオン・オフ時のドライブ速度が異なり、アンバランスを生じる。 R_G と配線インダクタンスを含むインピーダンスが、非常に大きいとアンバランスも大きくなる。

(図33, 35, 37参照)

●配線は、短い同じ長さのツイスト線にして、インピーダンスの差が生じないようにご注意ください。

● R_G が大きくなりすぎないようにご注意ください。

$$R_G \leq \text{推奨 (最小)} R_G \times 10$$

●主回路にドライバ配線が平行にならないようにご注意ください。

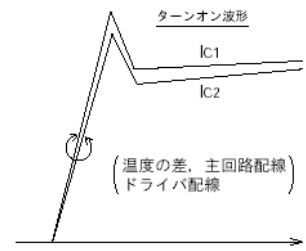


図35.

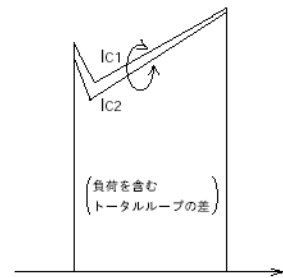


図36.

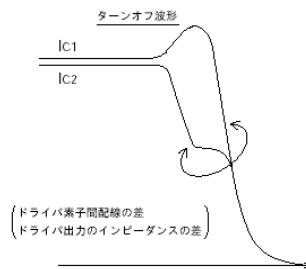


図37.

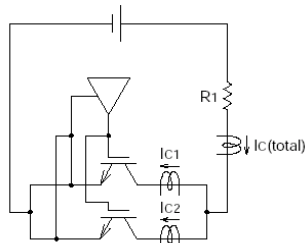


図32. R負荷スイッチング回路例

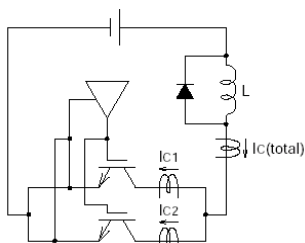


図33. L負荷スイッチング回路例

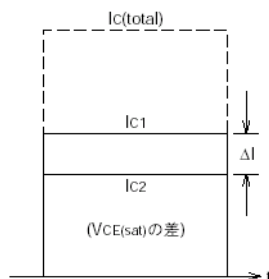


図34.

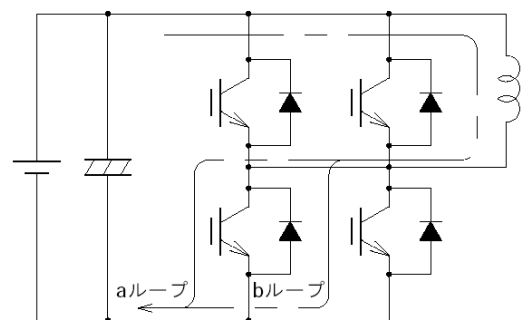


図38.

IGBTモジュールの使い方

7. 安全動作領域

7.1 ターンオフスイッチングSOA [逆バイアスSOA (RBSOA)]

MOSFETと異なり、IGBTの場合ターンオフ時のコレクタ電流-コレクタ・エミッタ間電圧の軌跡に図39のような領域限界があります。

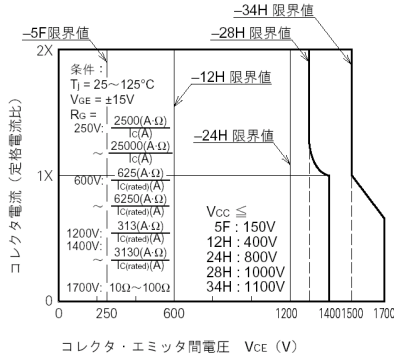


図39. ターンオフスイッチングSOA

7.2 短絡耐量

短絡は定格を越えた使用ですが、下記のような限界を有します。

(1) 極値確率

短絡開始から遮断までの時間（パルス幅）によって、図40のような極値確率があります。

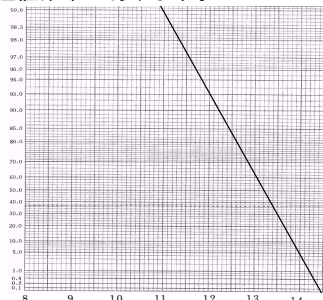


図40. 短絡極値確率（1200Vクラス）

7.3 短絡SOA (SCSOA)

短絡時にコレクタ・エミッタ間電圧の軌跡に図41.1のような領域限界があります。

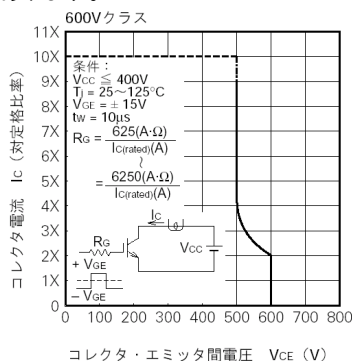


図41.1 短絡SOA (600Vクラス)

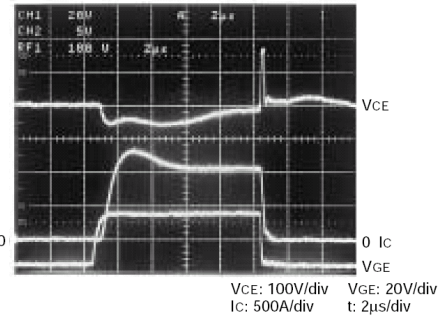


図41.2 短絡試験波形（例）

(1) ゲート・エミッタ間電圧 (V_{GE})

短絡時に限り、ゲート・エミッタ間電圧には定格電圧とは別に16.5Vという上限を有します。ただし、周期0.1μs以下の振動は、その平均値が16.5Vを越えないものとします。

(2) 短絡回数

短絡は非繰返しで100回以内とし、短絡した素子はできるだけ早く交換してください。

(3) 短絡保護の例

基本的には、短絡電流を検知し、ゲートへのオン信号を遮断します。図42に一例をブロック図で示します。

図43に示しますようなゲート電圧クランプ回路により短絡電流のピーク値を抑制することで、短絡遮断時間に余裕を持たせる方法もあります。（図44）

短絡の検知

短絡の発生をコレクタ電流を測定せずに簡易的に検知する方法としてオン時の $V_{CE(sat)}$ を見る方法がよく用いられています。尚、この短絡検知回路はIGBTにとっての短絡を検知するものであり、IGBTにとっての過電流、例えば配線のインピーダンスによって電流が制限されるような負荷短絡については検知できません（ V_{CE} 検知の場合、装置毎に調整すればある程度は可能な場合もありますが、ノイズや再現性の面で難しい技術です）。過電流の場合には直接コレクタ電流を測定する必要があります。過電流ではIGBTの V_{CE} は低く、急激な発熱がないため通常の熱計算で対応可能で、しかも時間余裕がありますから、比較的低速な電流検知手段でも使用可能となります。ただし、特に大電流の用途で、過電流レベルを低くすることによりスナバ回路の容量を低減したい場合などには高速なコレクタ電流測定手段が必要となります。

短絡遮断

特に大電流のモジュールを使用した回路で短絡を検知して遮断する場合、全ての素子をソフト遮断されることを推奨いたします。

IGBTモジュールの使い方

7.4 エミッタワイヤ溶断 I^2t

ヒューズをご使用になる場合はこの値より小さい I^2t のものをご使用ください。

6 / 7 素子入 ※RLはインバータ部IGBTのみに適用

形名	I^2t (kA ² s)	形名	I^2t (kA ² s)
—	—	CM50TL-24NF CM50RL-24NF	1.5
CM75TL-12NF CM75RL-12NF	1.5	CM75TL-24NF CM75RL-24NF	2.5
CM100TL-12NF CM100RL-12NF	2.5	CM100TL-24NF CM100RL-24NF	2.5
CM150TL-12NF CM150RL-12NF	3.0	CM150TL-24NF CM150RL-24NF	4.0
CM200TL-12NF CM200RL-12NF	4.0	CM200TL-24NF CM200RL-24NF	4.0

2素子入

形名	I^2t (kA ² s)	形名	I^2t (kA ² s)
CM150DY-12NF	2.5	CM100DY-24NF	1.8
CM200DY-12NF	3.5	CM150DY-24NF	2.5
CM300DY-12NF	5.0	CM200DY-24NF	3.5
CM400DY-12NF	7.0	CM300DY-24NF	5.0
CM600DY-12NF	10.0	CM400DY-24NF	6.8
—	—	CM600DU-24NF	18.0

MPD

形名	I^2t (kA ² s)	形名	I^2t (kA ² s)
CM900DU-24NF	27.0	CM1400DU-24NF	40.5

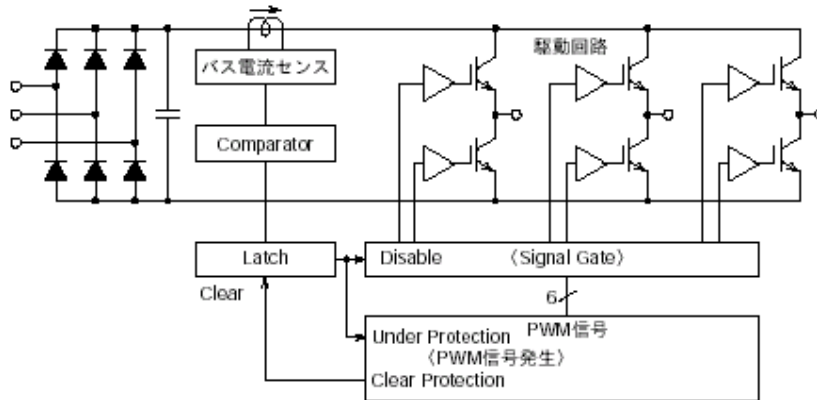
A シリーズ

形名	I^2t (kA ² s)	形名	I^2t (kA ² s)
CM100DY-24A	1.8	CM400HA-24A	13.0
CM150DY-24A	3.0	CM600HA-24A	19.5
CM200DY-24A	3.5	CM600HB-24A	19.5
CM300DY-24A	6.0	—	—
CM400DY-24A	7.5	—	—
CM600DY-24A	10.0	—	—

※上記 I^2t はチップ破壊後のワイヤの溶断 I^2t です。

IGBTモジュールの使い方

全体ブロック図



主要部回路図

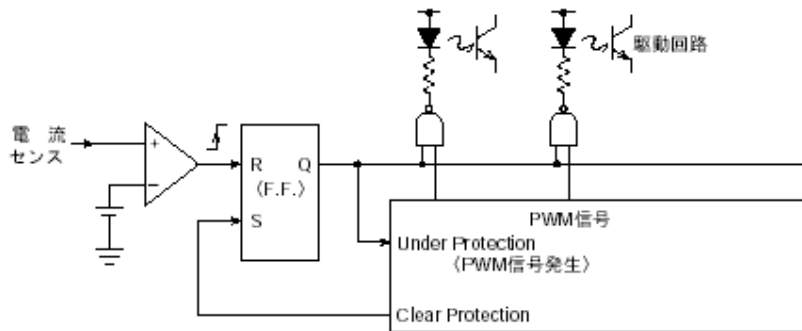


図42. 短絡保護回路ブロック図

ゲート電圧クランプ

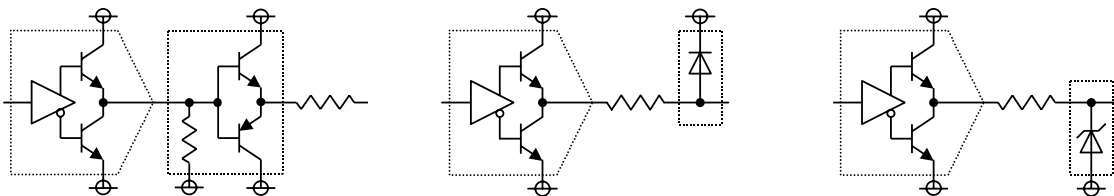


図43. ゲート電圧クランプ回路例

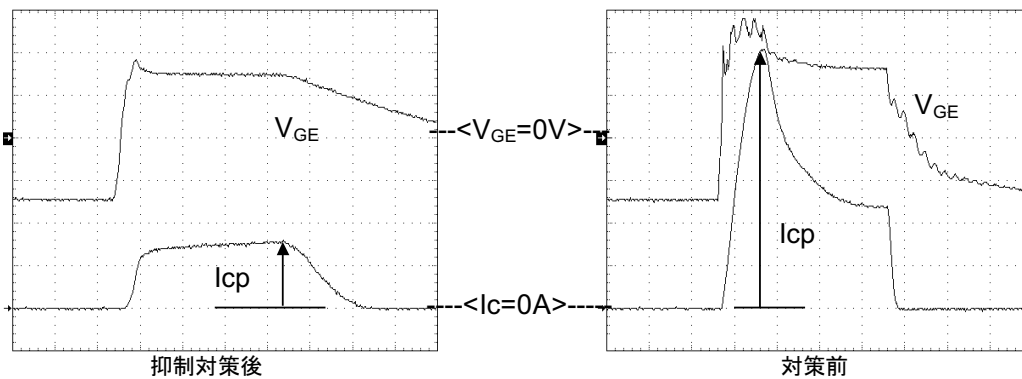


図44. 短絡電流抑制例

IGBTモジュールの使い方

8. パワー損失と接合温度

IGBTモジュールを使用する上で接合温度がどの程度かを知る事は是非とも必要です。以下に接合温度の求め方を図45の波形を例に説明します。以下の計算はIGBT部に関するものですが、ダイオード部も方法は基本的に同じです。また、温度上昇については最大定格を超えないようにするだけでなく、温度変化による接合部のパワーサイクル寿命にもご留意ください。



図 45.

a. パワー損失

接合温度を求める為には、IGBTモジュールの損失を知る必要があります。最初に1パルス当りの損失を求めます。1パルスの損失は定常損失とスイッチング損失に分けて考えます。(図46)

(1) 定常損失

$V_{CE(sat)}$ vs I_c 特性のグラフを用い定常損失を求めます。

$$E_{(sat)} = \frac{I_{c1} \times V_{CE(sat)1} + I_{c2} \times V_{CE(sat)2}}{2} \times t_{w1} \quad (J)$$

注) 上式は簡略化した式ですが、本来は、

$$E_{(sat)} = \int_0^{t_{w1}'} I_c(t) \cdot V_{CE}(t) dt$$

なお、この時 $V_{CE(sat)}$ vs I_c のグラフは $T_j = 125^\circ C$ の時のものを使用します。

(2) スイッチング損失

スイッチング損失は実際の波形から区分求積により求めます。

$$E_{on} = \int_{t_a}^{t_b} I_c(t) \cdot V_{CE}(t) dt = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n P_n \times (t_b - t_a)$$

n : 分割数

($t_a \sim t_b$ の区間を n 等分し、各点ごとのパワー損失を求め平均化する) E_{off} も同様に求めます。

(1), (2)より、1パルス当りの損失は

$$E_1 = E_{(sat)} + E_{on} + E_{off}$$

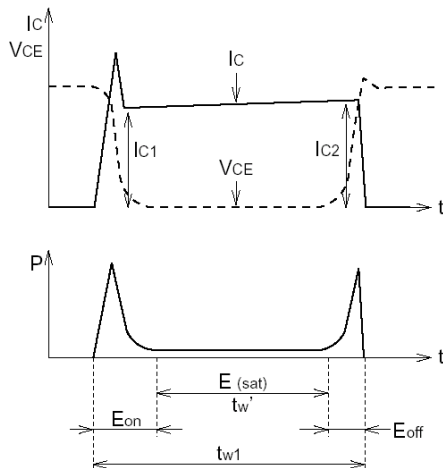


図 46.

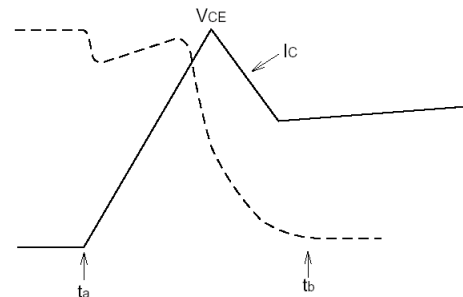


図 47.

IGBTモジュールの使い方

- (3) 平均パワー損失を求めます。
1パルス内の平均パワー損失は

$$P_1 = \frac{E_1}{t_{w1}} \quad (W)$$

で表されます。図 45 の波形を電力に関して矩形波近似すると図 48 のようになります。



図 48.

t_{w2} 期間内の平均パワー損失を求めます。(図 49 参照)

$$P_{av} = \frac{E_1}{t_{w2}} \times N \quad (W)$$

N : t_{w2} 期間内のパルス数

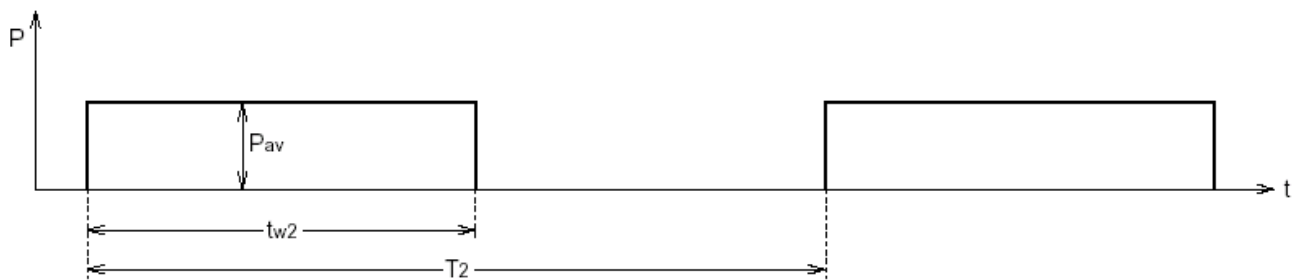


図 49.

全体の平均パワー損失を求めます。(図 50 参照)

$$P_{AV} = P_{av} \times \frac{t_{w2}}{T_2} \quad (W)$$

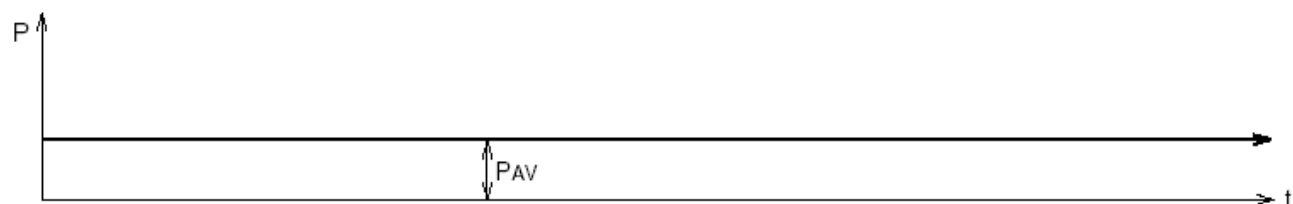


図 50.

b. 接合温度の計算

これまでに求めた P_1 , P_{av} , P_{AV} を用いて接合温度を求めます。パルスの長さにより次の 3 種類の場合に分けて考えます。

- (1) t_{w1} が短い場合 ($t_{w1} \ll 1ms$)
- (2) t_{w1} , t_{w2} が比較的長い場合 ($1ms < t_{w1} < t_{w2} < 1s$)
- (3) t_{w2} が長い場合 ($t_{w2} > 1s$)

IGBTモジュールの使い方

(1) $tw1 \ll 1ms$

図 47 の近似において、接合温度が最も高くなるのは、ケース温度（又はヒートシンク温度）が定常に達し、かつ $tw2$ の切れる時点です。（図 51 参照）

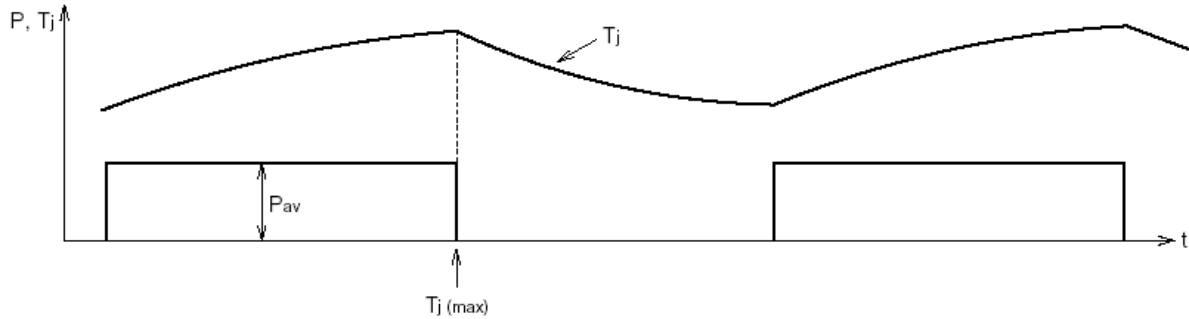


図 51.

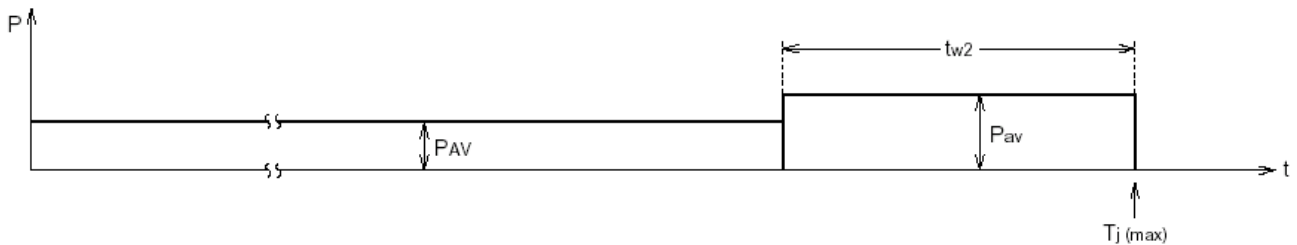


図 52.

接合・ケース間の温度差を $\Delta T(j-c)$ とすると、

$$\Delta T(j-c) = R_{th(j-c)} \times P_{AV} - Z_{th(j-c)}(tw2) \times P_{AV} + Z_{th(j-c)}(tw2) \times P_{av} = R_{th(j-c)} \times P_{AV} + (P_{av} - P_{AV}) \times Z_{th(j-c)}(tw2)$$

$R_{th(j-c)}$ ……接合・ケース間の熱抵抗

$Z_{th(j-c)}(tw2)$ ……接合・ケース間の $tw2$ 時点での過渡熱インピーダンス

$\therefore T_j = T_c + \Delta T(j-c)$ (T_c は熱電対により実測する)

$T_j(max) = 150^\circ C$ ですから、許容ケース温度 $T_c(max)$ は、 $T_c(max) = 150 - \Delta T(j-c)$ となります。

(2) $1ms < tw1 < tw2 < 1s$

この場合は $P1$ によるリップルも考慮に入れる必要があります。

(1) の場合と同様に図 51 のような矩形波近似を行います。

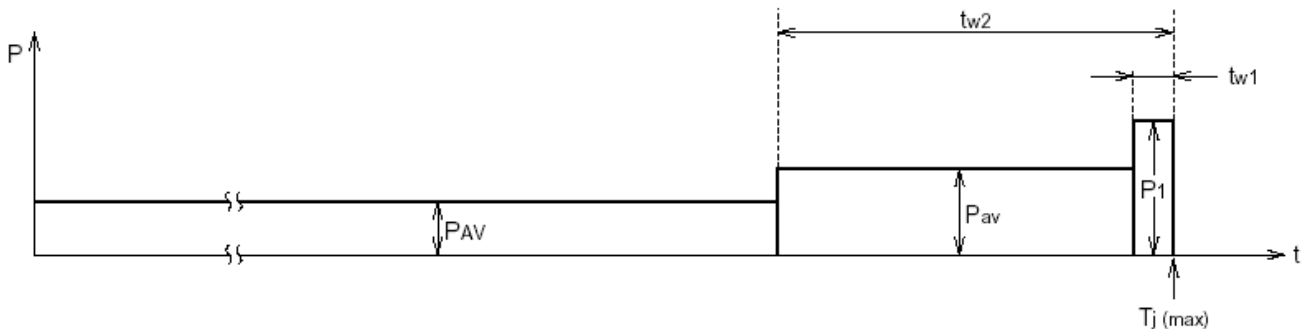


図 53.

$$\Delta T(j-c) = R_{th(j-c)} \times P_{AV} - Z_{th(j-c)}(tw2) \times P_{AV} + Z_{th(j-c)}(tw2) \times P_{av} - Z_{th(j-c)}(tw1) \times P_{av} + Z_{th(j-c)}(tw1) \times P1$$

$$= R_{th(j-c)} \times P_{AV} + (P_{av} - P_{AV}) \times Z_{th(j-c)}(tw2) + (P1 - P_{av}) \times Z_{th(j-c)}(tw1)$$

$R_{th(j-c)}$ ……接合・ケース間の熱抵抗

$Z_{th(j-c)}(tw2)$ ……接合・ケース間の $tw2$ 時点での過渡熱インピーダンス

$Z_{th(j-c)}(tw1)$ ……接合・ケース間の $tw1$ 時点での過渡熱インピーダンス

$\therefore T_j = T_c + \Delta T(j-c)$ (T_c は熱電対などにより実測する)

$T_c(max) = 150 - \Delta T(j-c)$

IGBTモジュールの使い方

(3) $tw_2 > 1s$

基本的な考え方は(2)の場合と同じですが、この場合は、ヒートシンクの温度変化も考える必要があります。このためにはヒートシンクの過渡熱インピーダンスを知る必要があります。(図 54)

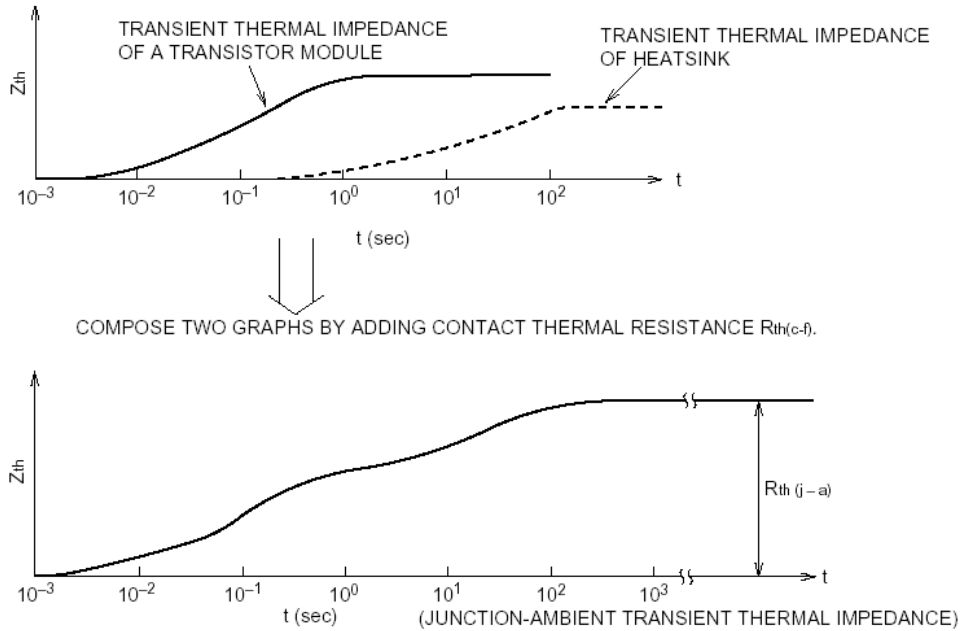


図 54

新しく作成したグラフを元に(2)の場合と同様の計算を行います。

$$\begin{aligned} \Delta T(j-a) &= R_{th}(j-a) \times P_{AV} - Z_{th}(j-a)(tw_2) \times P_{AV} + Z_{th}(j-a)(tw_2) \times P_{av} - Z_{th}(j-a)(tw_1) \times P_{av} + Z_{th}(j-a)(tw_1) \times P_1 \\ &= R_{th}(j-a) \times P_{AV} + (P_{av} - P_{AV}) \times Z_{th}(j-c)(tw_2) + (P_1 - P_{av}) \times Z_{th}(j-c)(tw_1) \\ \therefore T_j &= T_a + \Delta T(j-a) \quad (T_a \text{ は温度計にて計測する}) \end{aligned}$$

c. ヒートシンクの選定方法

図 55 に複数のモジュールを 1 つのヒートシンクに取付けた場合の等価回路を示します。

この等価回路において、ヒートシンクの温度は、

$$T_f = T_a + (P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times N \times R_{th}(f-a)$$

T_a : 周囲温度

$P_{T(AV)}$: トランジスタ部の平均パワー損失 (W)

$P_{D(AV)}$: ダイオード部の平均パワー損失 (W)

N : 素子数

$R_{th}(f-a)$: ヒートシンク・周囲間の熱抵抗 ($^{\circ}C/W$)

ケース温度 T_c では、

$$T_c = T_f + (P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times R_{th}(c-f)$$

$R_{th}(c-f)$: ケース・ヒートシンク間接触熱抵抗

ここで上記式に b. で求めた $T_c(max)$ を入れると

$$\therefore T_c(max) = T_a + (P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times N \times R_{th}(f-a) + (P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times R_{th}(c-f)$$

従って求めるヒートシンクの熱抵抗は、

$$R_{th}(f-a) = \frac{T_c(max) - T_a - (P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times R_{th}(c-f)}{(P_{T(AV)} + P_{D(AV)}) \times N}$$

尚、 $T_c(max)$ は IGBT 部のパワー損失から求めた値と、ダイオード部のパワー損失から求めた値を比較して、低い方の値を適用します。

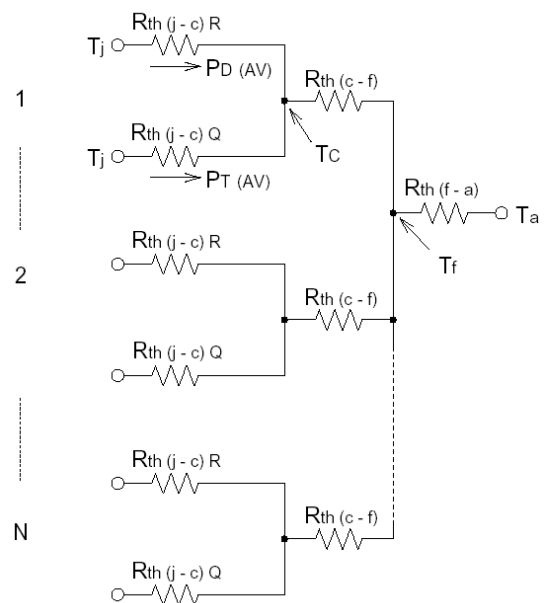


図 55

平均電力損失簡易計算式

VVVF インバータ回路における三菱電機製 IGBT モジュールまたは IPM の平均損失を算出するシミュレーションソフトウェアについて、三菱半導体ウェブサイトからダウンロード可能となっております。
インターネットに接続可能な環境をお持ちであれば、こちらのソフトウェアのご利用を推奨いたします。

<http://www.MitsubishiElectric.co.jp/semiconductors/>

上記 URL に表示されております **シミュレーションソフト** をクリックしていただくか、
または、下記 URL へ直接アクセスしてください。

https://www.semicon.melco.co.jp/dm/bin/u_als_form.pl

必要事項をご入力いただきますと、ダウンロードページが表示されます。

OSは、Windows®98SE以降のWindows®のみに対応しています。

使用方法などについては、「概要と操作方法説明用資料powersim.pdf」をご参照願います。

※Windowsは米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標です。

平均電力損失簡易計算式

(1) VVVF インバータ

■適用範囲

VVVF インバータへの応用に際してパワー素子を選定(比較)するための、通常動作時の総合損失の算出が可能です。
装置の熱設計(限界設計)には適用できません。

■仮定条件

- ①正弦波電流出力 PWM 制御 VVVF インバータ
- ②正弦波・三角波比較による PWM 信号発生
- ③PWM 信号のデューティー振幅は $\frac{1-D}{2} \sim \frac{1+D}{2}$ (% / 100) で変化 D : 変調率
- ④出力電流にはリップルがなくピーク値 I_p の正弦波電流 $I_p \cdot \sin x$ が流れる
- ⑤出力電流に対する負荷率は $\cos \theta$ 、スイッチングに対する負荷は純インダクタンス

■式の算出

PWM 信号のデューティー変化は、時間 x に対して $\frac{1+D \times \sin x}{2}$ となり、これが出力電圧変化に相当しますから、
出力電流と電圧の関係を示す力率 $\cos \theta$ により、出力電流の任意の位相 x での出力電流と PWM デューティーは、

$$\text{Output current} = I_p \times \sin x$$

$$\text{PWM Duty} = \frac{1+D \times \sin(x+\theta)}{2}$$

従って、位相 x での $V_{CE(sat)}$ と V_{EC} は、

$$V_{CE(sat)} = V_{ce(sat)}(@I_p \times \sin x)$$

$$V_{EC} = V_{ec}(@(-1) \times I_p \times \sin x)$$

以上から、IGBT の静損失は、

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_p \times \sin x) \times V_{ce(sat)}(@I_p \times \sin x) \times \frac{1+D \sin(x+\theta)}{2} \cdot dx$$

同様にフリーホイールダイオードの静損失は、

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} ((-1) \times I_p \times \sin x) \times (V_{ec}(@(-1) \times I_p \times \sin x)) \times \frac{1+D \sin(x+\theta)}{2} \cdot dx$$

一方、IGBT の動損失は PWM デューティーに依存しませんので

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (E_{on}(@I_p \times \sin x) + E_{off}(@I_p \times \sin x)) \times f_c \cdot dx$$

平均電力損失簡易計算式

またフリーホイールダイオードの動損失は、図 56 のように理想化すると

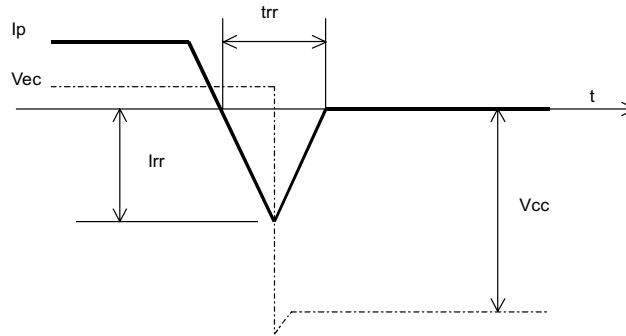


図 56. FWDi の動損失

$$Err = \frac{I_{rr} \times V_{cc} \times t_{rr}}{4}$$

リカバリが発生するのは、出力電流周期の半分ですので、動損失は、

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} \frac{I_{rr} (@I_p \times \sin x) \times V_{cc} \times t_{rr} (@I_p \times \sin x)}{4} \times f_c \cdot dx \\ &= \frac{1}{8\pi} \int_{\pi}^{2\pi} I_{rr} (@I_p \times \sin x) \times V_{cc} \times t_{rr} (@I_p \times \sin x) \times f_c \cdot dx \end{aligned}$$

実波形データを基にする場合は、

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} (Err (@I_p \times \sin x)) \times f_c \cdot dx$$

となる。

■ インバータへの応用の際の一般的な注意点

- ①出力電流 1 周期分を多数分割し、各点における実際の「PWM デューティー」、「出力電流」、「その電流における $V_{CE(sat)}$ 、 V_{EC} 、 E_{on} 、 E_{off} 、 Err 」に基づいて計算し加算する必要があります。
- ②PWM デューティーは信号の発生方法に依存します。
- ③出力電流波形や出力電流と PWM デューティーの関係は、信号の発生方法、負荷、その他の種々の要因に依存しますので、実波形を基にします。
- ④ $V_{CE(sat)}$ 、 V_{EC} は $T_j=125^\circ\text{C}$ の値を使用します。
- ⑤ E_{on} 、 E_{off} および Err は $T_j=125^\circ\text{C}$ ハーフブリッジ動作時の値を使用します。

■ 熱設計への応用の際の注意点

- ①損失が最悪となる動作条件を検討する必要があります。
- ②出力電流の周期による温度変化を加味します。
(60Hz で約 30%程度。数 Hz の出力電流が数秒続く際には、ピーク電流の直流連続スイッチングとほぼ同等となります。)
- ③スイッチングによる温度リプルを加味します。(特に $f_c \ll 10\text{kHz}$ では重要)

安全設計に関するお願い

- ・弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、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。弊社の半導体製品の故障又は誤動作によって結果として、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないような安全性を考慮した冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分ご注意ください。

本資料ご利用に際しての留意事項

- ・本資料は、お客様が用途に応じた適切な三菱半導体製品をご購入いただくための参考資料であり、本資料中に記載の技術情報について三菱電機が所有する知的財産権その他の権利の実施、使用を許諾するものではありません。
- ・本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例の使用に起因する損害、第三者所有の権利に対する侵害に関し、三菱電機は責任を負いません。
- ・本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他全ての情報は本資料発行時点のものであり、三菱電機は、予告なしに、本資料に記載した製品または仕様を変更することがあります。三菱半導体製品のご購入に当たりますは、事前に三菱電機または特約店へ最新の情報をご確認頂きますとともに、三菱電機半導体情報ホームページ(www.MitsubishiElectric.co.jp/semiconductors)などを通じて公開される情報に常にご注意ください。
- ・本資料に記載した情報は、正確を期すため、慎重に制作したものです。万一本資料の記述誤りに起因する損害がお客様に生じた場合には、三菱電機はその責任を負いません。
- ・本資料に記載の製品データ、図、表に示す技術的な内容、プログラム及びアルゴリズムを流用する場合は、技術内容、プログラム、アルゴリズム単位で評価するだけでなく、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。三菱電機は、適用可否に対する責任を負いません。
- ・本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況の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。本資料に記載の製品を運輸、移動体用、医療用、航空宇宙用、原子力制御用、海底中継用機器あるいはシステムなど、特殊用途へのご利用をご検討の際には、三菱電機または特約店へご照会ください。
- ・本資料の転載、複製については、文書による三菱電機の事前の承諾が必要です。
- ・本資料に関し詳細についてのお問い合わせ、その他お気づきの点がございましたら三菱電機または特約店までご照会ください。