

mitsubishi

IPM L1/S1-シリーズ

活用の手引き

2008年9月作成

目次

目次

1. 製品ラインナップ	.....	3
2. 内部接続図	.....	4
3. 外形図	.....	5
4. IPM の交流モータ制御応用	.....	8
5. 用語説明	.....	9
6. 形名の付け方（銘板記載情報）	.....	10
7. 構造	.....	11
8. パワーモジュールを正しく安全に使用するために	.....	15
9. 信頼性	.....	17
10. パワー素子の実装配置	.....	17
10-1. コンデンサの実装配置	.....	17
10-2. 取り付け上の注意事項	.....	17
10-3. 熱抵抗の考え方	.....	18
10-4. 熱伝導性グリースの塗布方法	.....	20
10-5. IPM の回路の接続	.....	21
10-6. IPM の端子	.....	22
11. IPM の使い方	.....	24
11-1. IPM の端子記号の説明	.....	24
11-2. IPM の機能	.....	26
11-3. IPM の安全動作領域	.....	27
11-4. IPM の Fo 信号	.....	28
11-5. IPM のインターフェイス回路	.....	31
11-6. IPM の制御電源電圧	.....	32
11-7. IPM L1/S1-シリーズのモータ駆動用途への応用	.....	33
11-8. IPM の制御側インターフェイス回路	.....	34
11-9. IPM 使用上のその他の注意事項	.....	37
11-10. IPM の制御電源回路電流	.....	38
11-11. Fo 回路	.....	40
12. パワー損失と接合部温度	.....	41
13. 平均電力損失簡易計算式	.....	45
14. 本資料ご使用に際しての留意事項	.....	47

製品ラインナップ

1. 製品ラインナップ

L1-シリーズ IPM

7 素子 (インバータ+ ブレーキ)

600V (AC200)

ネジタイプ	ピンタイプ
PM50RL1A060	PM50RL1C060
PM75RL1A060	PM50RL1B060
PM100RL1A060	PM75RL1B060
PM150RL1A060	PM100RL1B060
PM200RL1A060	PM150RL1B060
PM300RL1A060	

1200V (AC400V)

ネジタイプ	ピンタイプ
PM25RL1A120	PM25RL1C120
PM50RL1A120	PM25RL1B120
PM75RL1A120	PM50RL1B120
PM100RL1A120	PM75RL1B120
PM150RL1A120	

6 素子 (インバータ)

600V (AC200)

ネジタイプ	ピンタイプ
PM50CL1A060	PM50CL1B060
PM75CL1A060	PM75CL1B060
PM100CL1A060	PM100CL1B060
PM150CL1A060	PM150CL1B060
PM200CL1A060	
PM300CL1A060	

1200V (AC400V)

ネジタイプ	ピンタイプ
PM25CL1A120	PM25CL1B120
PM50CL1A120	PM50CL1B120
PM75CL1A120	PM75CL1B120
PM100CL1A120	
PM150CL1A120	

S1-シリーズ IPM

6 素子 (インバータ)

600V (AC200)

ネジタイプ
PM50CS1D060
PM75CS1D060
PM100CS1D060
PM150CS1D060
PM200CS1D060

1200V (AC400V)

ネジタイプ
PM25CS1D120
PM50CS1D120
PM75CS1D120
PM100CS1D120

パッケージ

IPM L1-シリーズ ミニパッケージ IPM L1-シリーズ小型パッケージ



ピンタイプ



ネジタイプ



ピンタイプ

IPM L1-シリーズ中型パッケージ



ネジタイプ

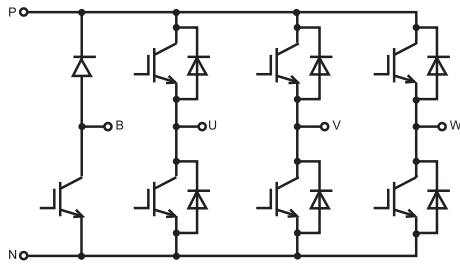
IPM S1-シリーズ



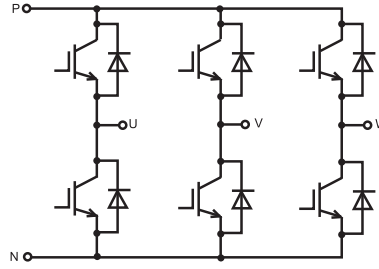
ネジタイプ

内部接続図

2. 内部接続図



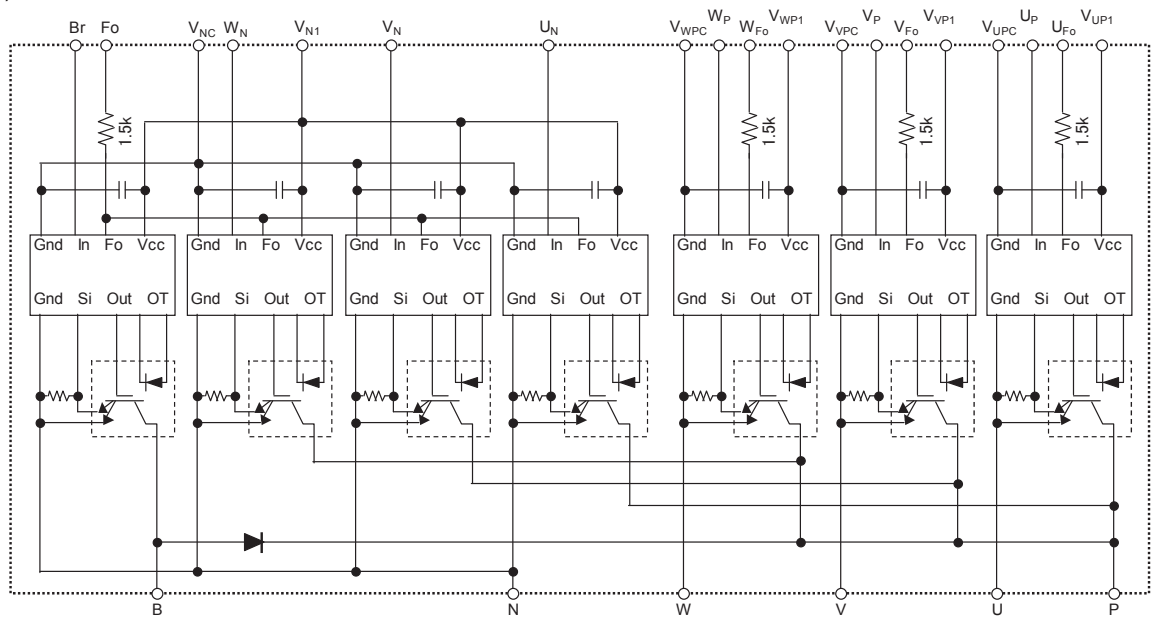
7 素子 (インバータ+ ブレーキ)



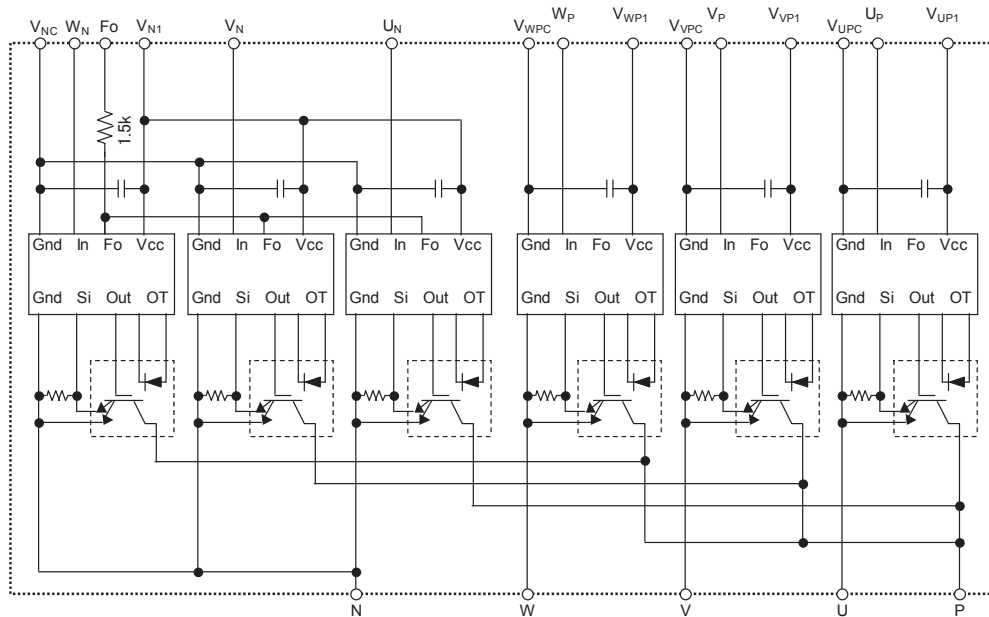
6 素子 (インバータ)

L1-シリーズ

例) 7 素子

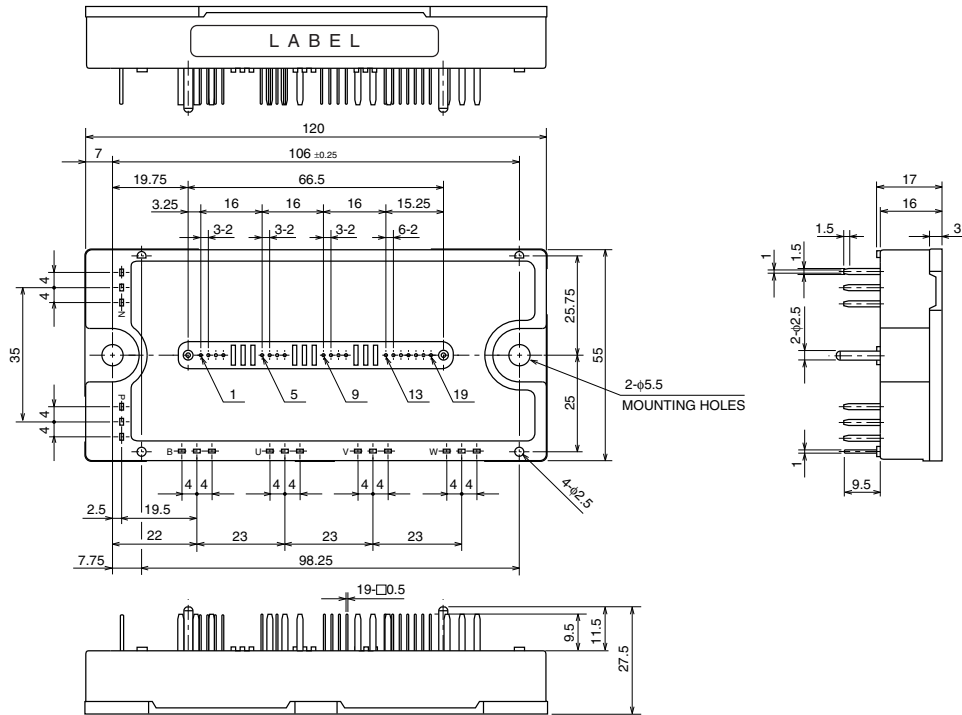


S1-シリーズ

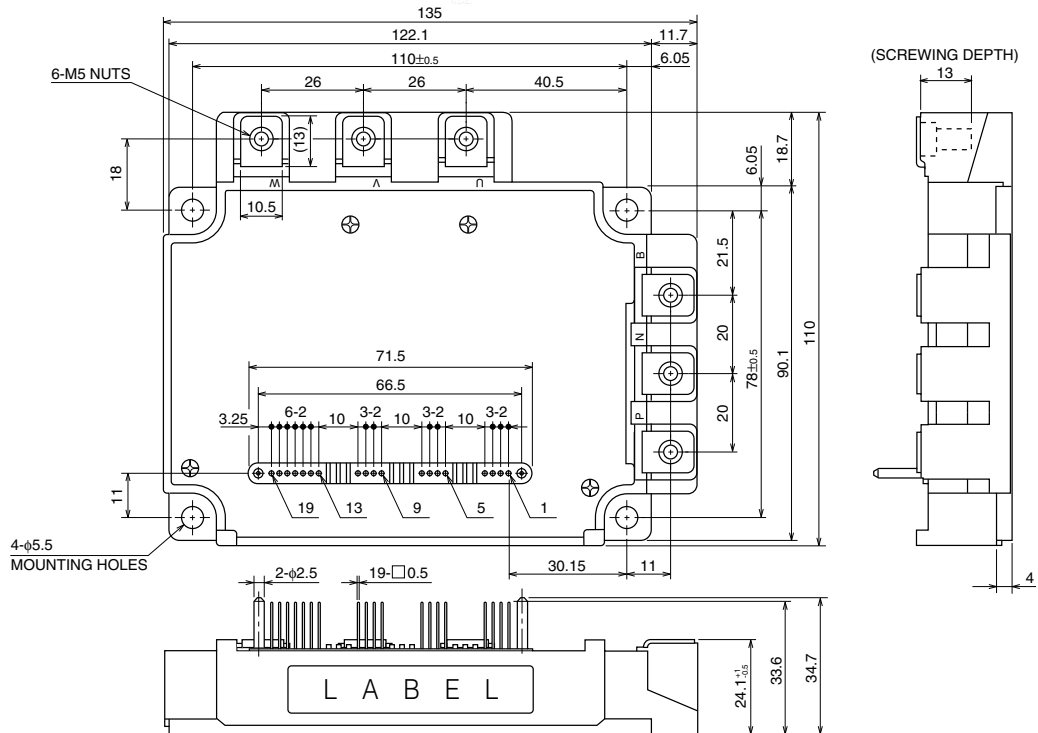


外形図

IPM L1-シリーズ 小型パッケージ (ピンタイプ)

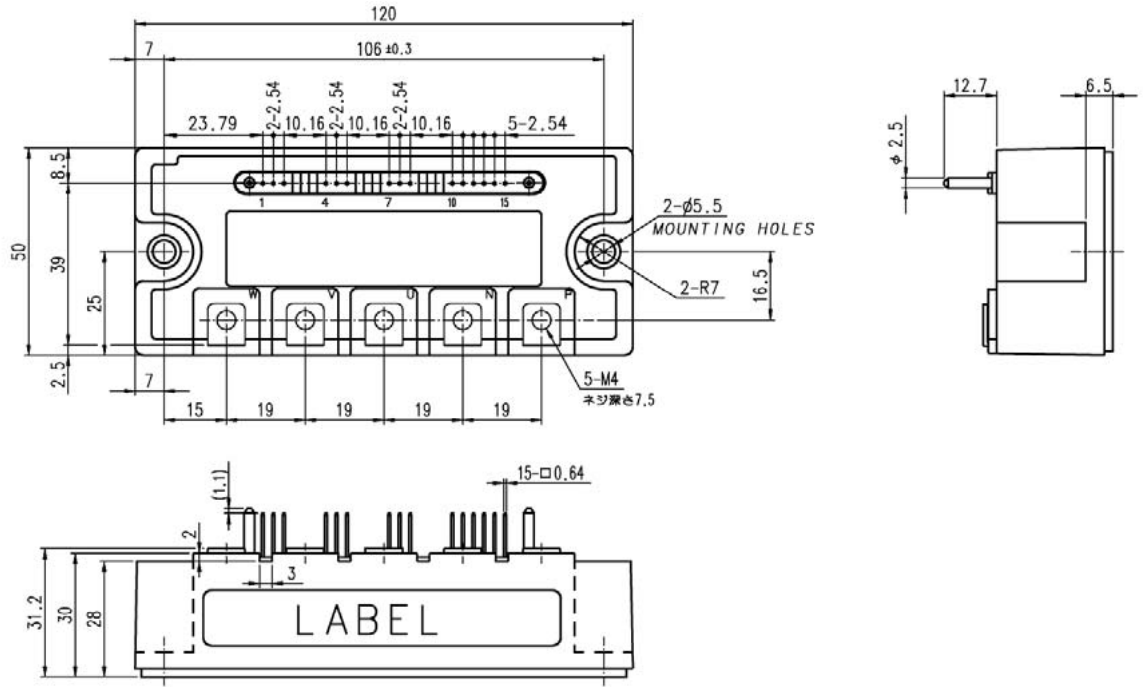


IPM L1-シリーズ 中型パッケージ



外形図

IPM S1-シリーズ



IPM の交流モータ制御応用

4. IPMの交流モータ制御応用

■AC220V系

適応 モータ定格 (kW)	インバータ用モジュール	コンバータ用 モジュール
	L1-シリーズ	
3.7	PM50RL1A060,PM50RL1B060 PM50CL1A060,PM50CL1B060 PM50RL1C060	RM30TA-H
5.5/7.5	PM75RL1A060,PM75RL1B060 PM75CL1A060,PM75CL1B060	RM30TA-H
11.0	PM100RL1A060,PM100RL1B060 PM100CL1A060,PM100CL1B060	RM50TC-H
15.0/18.5	PM150RL1A060,PM150RL1B060 PM150CL1A060,PM150CL1B060	RM75TC-H
22.0	PM200RL1A060,PM200CL1A060	RM75TC-H
30.0	PM300RL1A060,PM300CL1A060	PM100DZ-H × 3

■AC440V系

適応 モータ定格 (kW)	インバータ用モジュール	コンバータ用 モジュール
	L1-シリーズ	
5.5	PM25RL1A120,PM25RL1B120 PM25CL1A120,PM25CL1B120 PM25RL1C120	RM20TA-2H
7.5	PM50RL1A120,PM50RL1B120 PM50CL1A120,PM50CL1B120	RM50TC-2H
11.0/15.0	PM75RL1A120,PM75RL1B120 PM75CL1A120,PM75CL1B120	RM50TC-2H
18.5/22.0	PM100RL1A120,PM100CL1A120	RM50TC-2H
30.0	PM150RL1A120,PM150CL1A120	PM60DZ-2H × 3

IPMのサーボモータ駆動応用(参考例)

■AC220V系

適応 モータ定格 (kW)	インバータ用モジュール	コンバータ用 モジュール(参考)
	S1-シリーズ	
~1.5	PM50CS1D060	RM30TA-H
~2.0	PM75CS1D060	RM30TA-H
~3.5	PM100CS1D060	RM50TC-H
~6.0	PM150CS1D060	RM75TC-H
~7.5	PM200CS1D060	RM75TC-H

■AC440V系

適応 モータ定格 (kW)	インバータ用モジュール	コンバータ用 モジュール(参考)
	S1-シリーズ	
~1.5	PM25CS1D120	RM20TA-2H
~3.0	PM50CS1D120	RM50TC-2H
~5.0	PM75CS1D120	RM50TC-2H
~6.0	PM100CS1D120	RM50TC-2H

上記は参考例です。用途を限定するものではありません。
ご使用の際には、動作条件(電圧、電流)に合わせて十分な検証を行ってください。

用語説明

5. 用語説明

一般1

項目	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時間
IPM Motor	Interior Permanent Magnet Motor	磁石埋込み形モータ
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

一般2

記号	項目	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

最大定格

記号	項目	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において、コレクタ・エミッタ間に短時間印加し得る最大電圧
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・エミッタ間に連続して流すことのできる最大電流
I _{CP}	コレクタ電流(ピーク)	指定のケース温度において、コレクタ・エミッタ間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
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 _c =25°C
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)	主端子を全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	端子ねじ、取付けねじの締付けトルク範囲

電気的特性

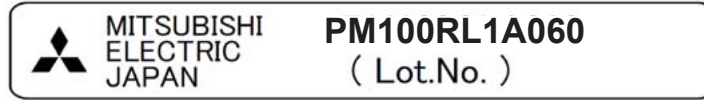
記号	項目	説明
I _{CEs}	コレクタ遮断電流	ゲート・エミッタ間を短絡した状態において、コレクタ・エミッタ間に規定の電圧を印加したとき流れるコレクタ電流
V _{CE(sat)}	コレクタ・エミッタ間飽和電圧	規定の条件にて、規定のコレクタ電流を流したときのコレクタ・エミッタ間電圧
tc(on)	スイッチング・ターンオン時間	ターンオン時において、コレクタ電流が最終値の10%まで上昇した時点からコレクタ・エミッタ間電圧がターンオン開始直前の10%まで下降した時点までの、コレクタ電流とコレクタ・エミッタ間電圧間の時間
tc(off)	スイッチング・ターンオフ時間	ターンオフ時において、コレクタ・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・エミッタ間電圧間の時間
E _{on}	スイッチング・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}	スイッチング・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
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
V _{EC}	FWDi順電圧降下	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 _{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-ケース間)	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(ケース-フィン間)	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

形名の付け方

6. 形名のつけ方 (銘板記載情報)

銘板)

L1-シリーズ ミニパッケージ、小型パッケージ およびS1-シリーズ

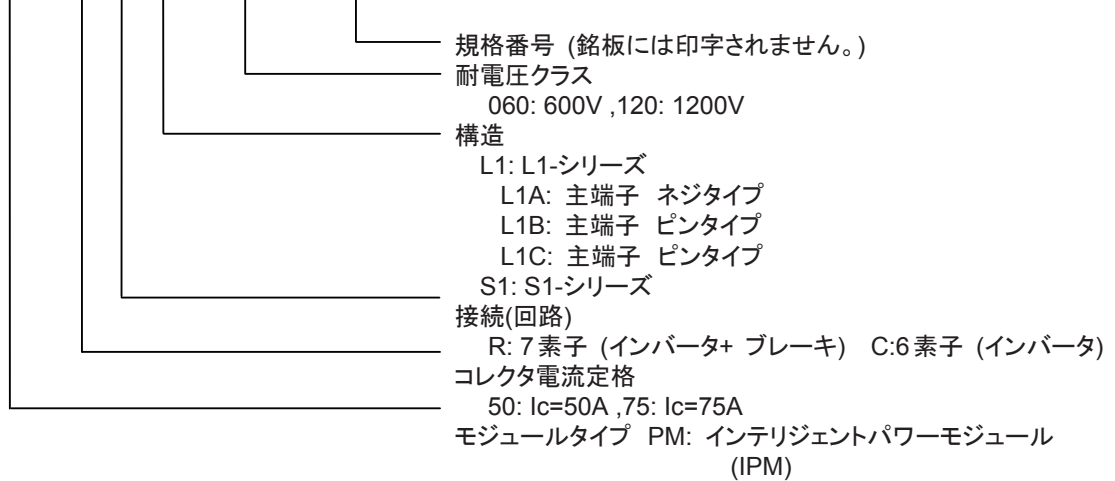


L1-シリーズ 中型パッケージ



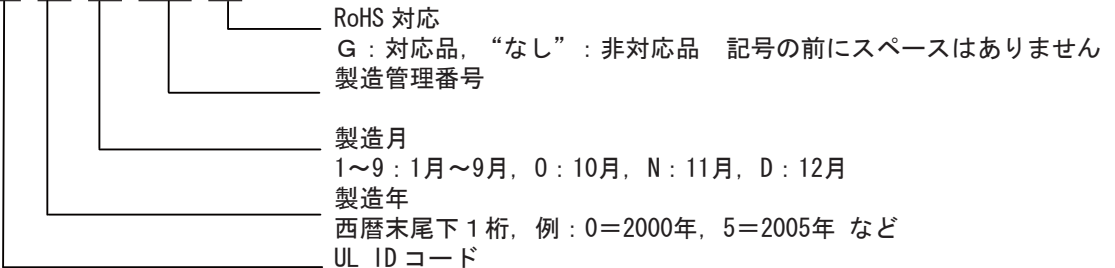
形名)

PM 50 R L1A 060 - 300



ロットナンバー)

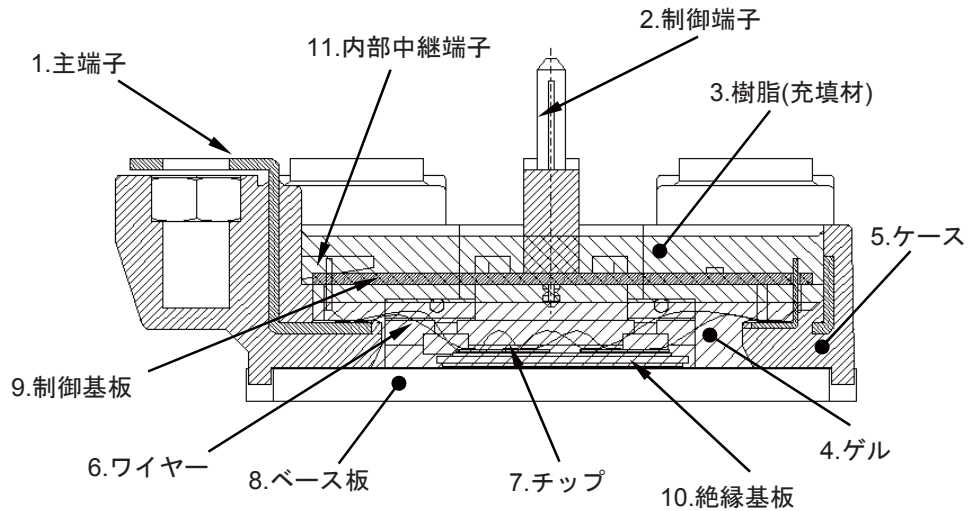
E 0 9 AA3 G



構造

7. 構造

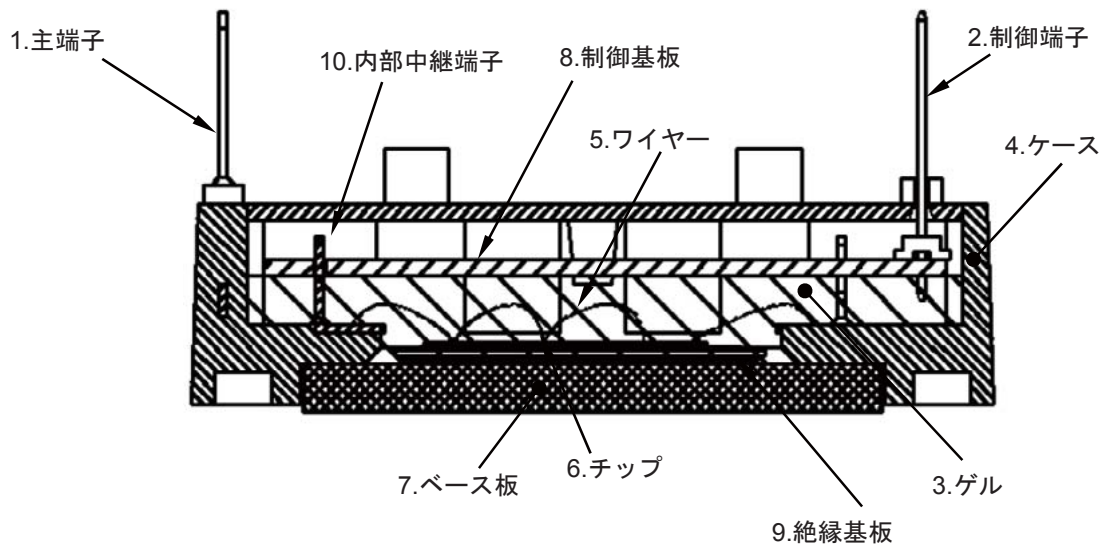
例) L1-シリーズ 小型パッケージ ネジタイプ



	部品	材質	難燃性
1	主端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	
2	制御端子	主材：真鍮 メッキ：Ni(ニッケル)+金 樹脂部：PBT	UL 94-V0
3	樹脂(充填材)	エポキシ	UL 94-V0
4	ゲル	シリコン	
5	ケース	PPS	UL 94-V0
6	ワイヤー	アルミニウム	
7	チップ	シリコン	
8	ベース板	銅	
9	制御基板	ガラエポ	UL 94-V0
10	絶縁基板	セラミック	
11	内部中継端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	

構造

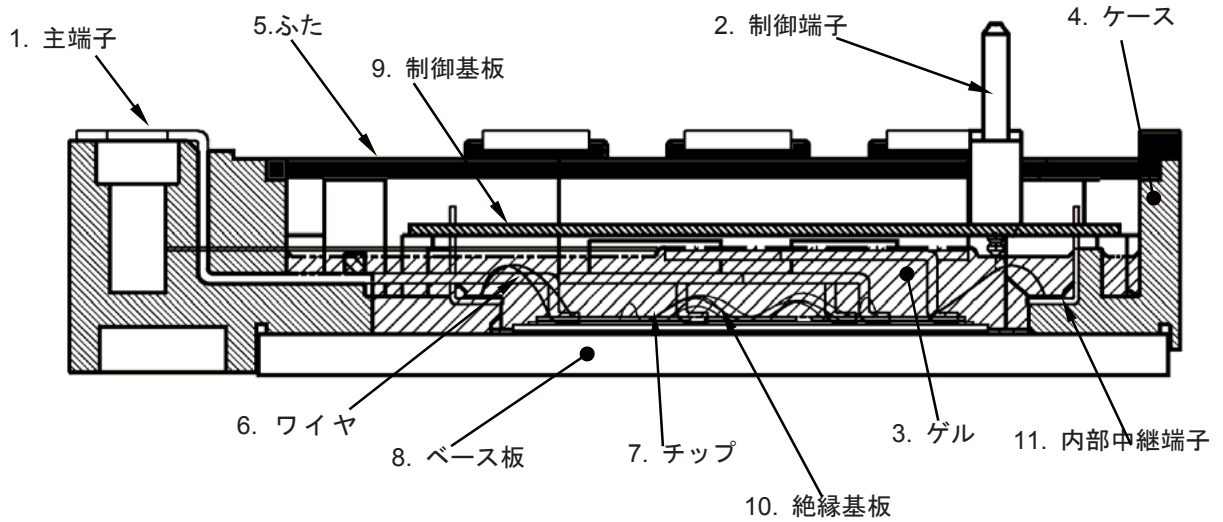
例) L1-シリーズ ミニパッケージ



	部品	材質	難燃性
1	主端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	
2	制御端子	主材：真鍮 メッキ：Ni(ニッケル)+Sn(錫)	
3	ゲル	シリコン	
4	ケース	PPS	UL 94-V0
5	ワイヤー	アルミニウム	
6	チップ	シリコン	
7	ベース板	銅	
8	制御基板	ガラエポ	UL 94-V0
9	絶縁基板	セラミック	
10	内部中継端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	

構造

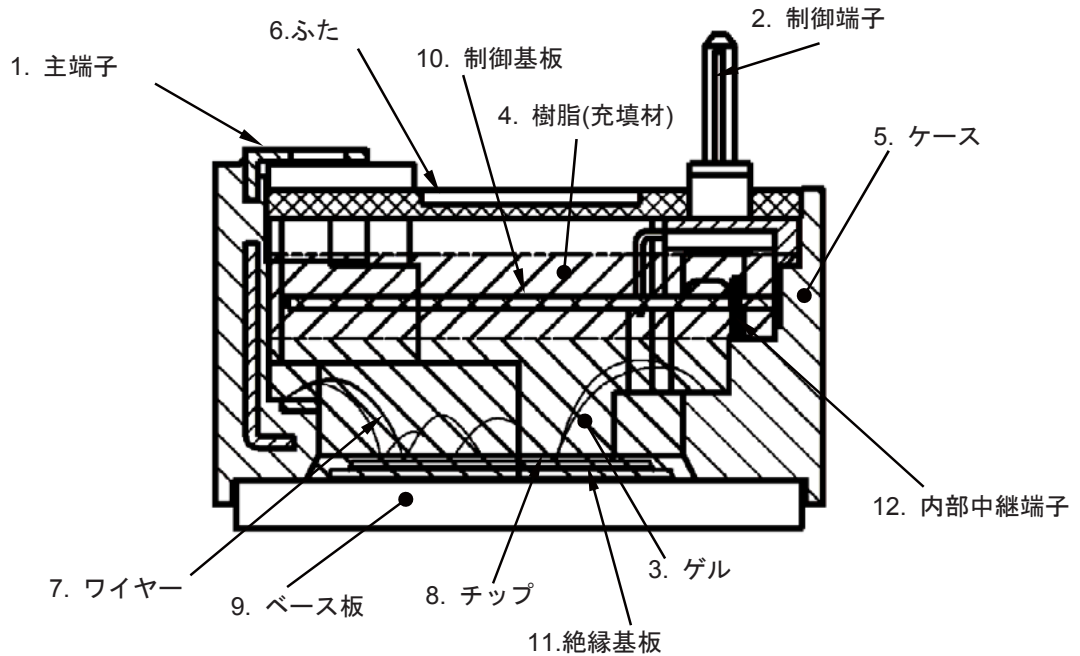
例) L1-シリーズ 中型パッケージ



	部品	材質	難燃性
1	主端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	
2	制御端子	主材：真鍮 メッキ：Ni(ニッケル)+金 樹脂部：PBT	UL 94-V0
3	ゲル	シリコン	
4	ケース	PPS	UL 94-V0
5	ふた	PPS	UL 94-V0
6	ワイヤー	アルミニウム	
7	チップ	シリコン	
8	ベース板	銅	
9	制御基板	ガラエポ	UL 94-V0
10	絶縁基板	セラミック	
11	内部中継端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	

構造

例) S1-シリーズ




	部品	材質	難燃性
1	主端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	
2	制御端子	主材：真鍮 メッキ：Ni(ニッケル)+金 樹脂部：PBT	UL 94-V0
3	ゲル	シリコン	
4	樹脂(充填材)	エポキシ	UL 94-V0
5	ケース	PPS	UL 94-V0
6	ふた	PPS	UL 94-V0
7	ワイヤ	アルミニウム	
8	チップ	シリコン	
9	ベース板	銅	
10	制御基板	ガラエポ	UL 94-V0
11	絶縁基板	セラミック	
12	内部中継端子	主材：銅 メッキ：Ni(ニッケル)	

パワーモジュールを正しく安全に使用するために

8. 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。

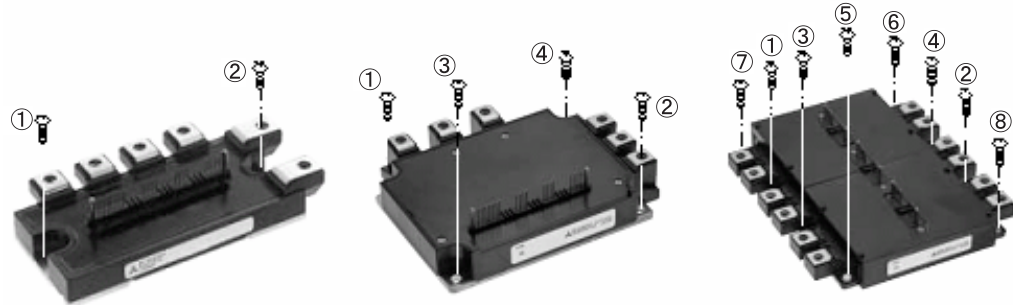
 注意	
運送・運搬方法	(1) 運送中は梱包箱を正しい向きに置いてください。逆さにしたり、立てかけたり不自然な力を加えると、電極端子が変形したり樹脂ケースが壊れる原因になります。 (2) 投げたり、落としたりすると素子が壊れる原因になります。 (3) 水に濡れると使用時の故障原因になります。降雨、降雪時の運搬には濡らさないように注意してください。
保管方法	本製品を保管する場所の温度及び湿度は、5~35° C、45~75%常温常湿範囲内が望ましく、この温度、湿度から極度にかげ離れた環境では素子の性能や信頼性を低下させることがあります。
長期保管	本製品を長期（1年以上）に保管する場合は、除湿（防湿）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、錆などが無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、MOSゲート構造を有するIGBTモジュール（CMシリーズ）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。
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。

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となります。締め付け順序例を下图に示します。



a) 2点締めモジュール

b) 4点締めモジュール

c) 8点締めモジュール

仮締め：①→②

本締め：②→①

①→②→③→④

④→③→②→①

①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧

①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧

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。

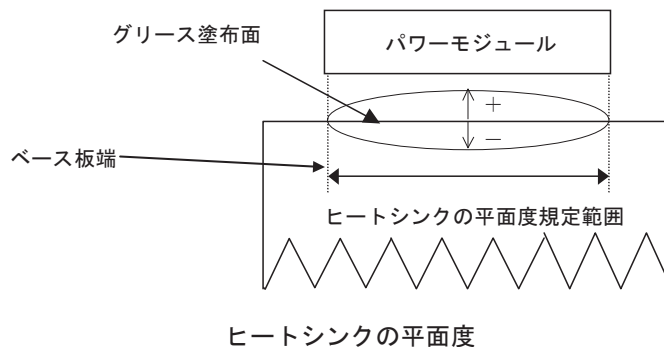
放熱効果を最大限得るためには、その接触面積をできるだけ大きくし接触熱抵抗を最少にする必要があります。

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（下图参照）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。

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損または、劣化を招く危険性があります。



信頼性, パワー素子の実装配置

9. 信頼性

信頼性に関しては、下記の Web サイトを参照ください。

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/semiconductors/products/powermod/reliability/index.html>

10. パワー素子の実装配置

10-1. 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。

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。

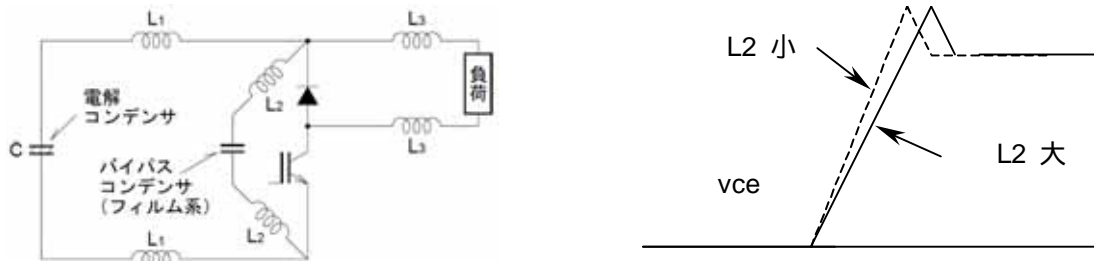
素子の近くに、フィルム系のコンデンサを接続し、高周波電流をバイパスさせる。

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。

素子にスナバ回路をつけて、サージ電圧を吸収する。

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、と 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、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、配線をできるかぎり短くしておき、抑えきれないサージ電圧を、 L_2 、 L_3 を用いて抑制するのが一般的です。ただし、により発振を生じるときには、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。



L_1 ：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。

L_2 ：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。（ L_2 dv/dt ）

L_3 ：負荷をつなぐ配線のインダクタンス。

10-2. 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 μm 以内のものをご使用ください。

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 μm (200 μm を越えないよう) が適切と考えます。

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。また、ねじが傾いた状態で締付けた場合は、ケースが破損する事があります。

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
ねじ傾きにつきましては ISO 2768-1 を参照下さい。

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。

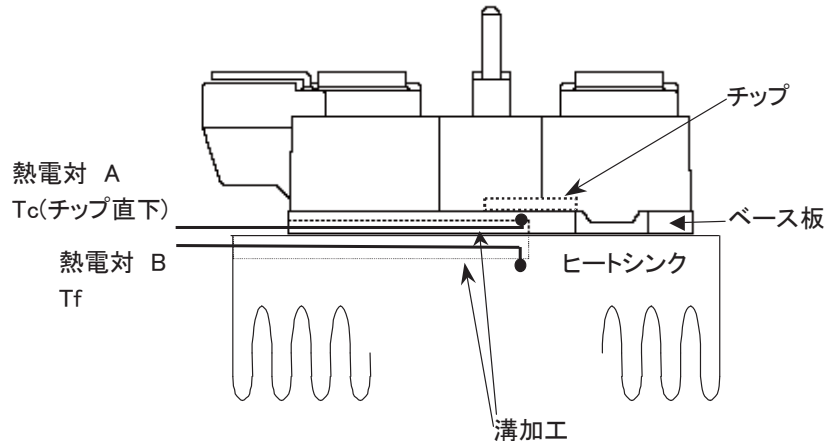
同カタログ掲載の G747 を使用した場合も標準値には大きな影響はありません)

パワー素子の実装配置

10-3. 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、L シリーズ IPM からチップ直下に変更しています。

弊社の熱抵抗測定では、モジュールとヒートシンクとの接触面に熱伝導率 $0.92\text{W/m}\cdot\text{°C}$ の放熱用グリースを $100\mu\text{m}$ ($200\mu\text{m}$ を越えないよう) 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、下図に示す位置に熱電対をつけ、ベース板およびヒートシンク温度を測定しています。



注意事項

- ※使用するヒートシンクの材質、面積、厚みにより熱抵抗は変わることがあります。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。
- ※グリースの種類、塗布量により熱抵抗は変わることがあります。

L1-シリーズの熱抵抗

600V クラス

形名	インバータ部 チップ直下		ブレーキ部 チップ直下		接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$
	IGBT-チップ $R_{th(j-c)Q}$	FWDi-チップ $R_{th(j-c)}$	IGBT-チップ $R_{th(j-c)Q}$	FWDi(P)-チップ $R_{th(j-c)}$	
PM50RL1C060	0.74	1.28	0.74	1.28	0.085
PM50RL1A060, PM50RL1B060	0.44	0.75	0.44	0.75	0.038
PM50CL1A060, PM50CL1B060	0.44	0.75	-	-	0.038
PM75RL1A060, PM75RL1B060	0.37	0.63	0.44	0.75	0.038
PM75CL1A060, PM75CL1B060	0.37	0.63	-	-	0.038
PM100RL1A060, PM100RL1B060	0.32	0.52	0.44	0.75	0.038
PM100CL1A060, PM100CL1B060	0.32	0.52	-	-	0.038
PM150RL1A060, PM150RL1B060	0.25	0.41	0.38	0.64	0.038
PM150CL1A060, PM150CL1B060	0.25	0.41	-	-	0.038
PM200RL1A060	0.20	0.30	0.32	0.53	0.023
PM200CL1A060	0.20	0.30	-	-	0.023
PM300RL1A060	0.15	0.23	0.24	0.39	0.023
PM300CL1A060	0.15	0.23	-	-	0.023

パワー素子の実装配置

1200V クラス

形名	インバータ部 チップ直下		ブレーキ部 チップ直下		接触熱抵抗 Rth(c-f)
	IGBT-チップ Rth(j-c)Q	FWDi-チップ Rth(j-c)	IGBT-チップ Rth(j-c)Q	FWDi(P)-チップ Rth(j-c)	
	PM25RL1C120	0.70	1.18	0.70	1.18	0.085
PM25RL1A120,PM25RL1B120	0.97	1.60	0.97	1.60	0.038
PM25CL1A120,PM25CL1B120	0.97	1.60	-	-	0.038
PM50RL1A120,PM50RL1B120	0.27	0.47	0.39	0.67	0.038
PM50CL1A120,PM50CL1B120	0.27	0.47	-	-	0.038
PM75RL1A120,PM75RL1B120	0.21	0.36	0.27	0.47	0.038
PM75CL1A120,PM75CL1B120	0.21	0.36	-	-	0.038
PM100RL1A120	0.19	0.31	0.28	0.48	0.023
PM100CL1A120	0.19	0.31	-	-	0.023
PM150RL1A120	0.15	0.23	0.21	0.36	0.023
PM150CL1A120	0.15	0.23	-	-	0.023

S1-シリーズの熱抵抗

600V クラス

形名	インバータ部 チップ直下		接触熱抵抗 Rth(c-f)
	IGBT-チップ Rth(j-c)Q	FWDi-チップ Rth(j-c)	
	PM50CS1D060	0.40	0.68	0.046
PM75CS1D060	0.33	0.55	0.046
PM100CS1D060	0.28	0.46	0.046
PM150CS1D060	0.21	0.35	0.046
PM200CS1D060	0.18	0.27	0.046

1200V クラス

形名	インバータ部 チップ直下		接触熱抵抗 Rth(c-f)
	IGBT-チップ Rth(j-c)Q	FWDi-チップ Rth(j-c)	
	PM25CS1D120	0.37	0.59	0.046
PM50CS1D120	0.25	0.41	0.046
PM75CS1D120	0.20	0.32	0.046
PM100CS1D120	0.18	0.27	0.046

パワー素子の実装配置

10-4. 熱伝導性グリースの塗布方法（例）

弊社におけるパワーモジュールに使用する熱伝導性グリース（以下グリースと呼びます）の塗布方法についてご説明します。

- ①準備するもの：パワーモジュール、グリース、へら又はローラー、電子質量計、手袋
サーマルコンパウンドと呼ばれているものも基本的にはグリースと同じ機能を果たしますが、粘度の高いものを使用する場合は、ベース全面に広がるよう塗布前によく攪拌ください。
- ②塗布するグリースの量と厚みの関係は下記のようにっており、

$$\text{グリースの厚み} = \frac{\text{グリースの量}[\text{g}]}{\text{モジュールのベース板の面積}[\text{cm}^2] \times \text{グリースの密度}[\text{g}/\text{cm}^3]}$$

弊社推奨のグリース厚みは 100 μm です。(200 μm を越えないようご注意ください)
なお、この厚みは、塗布時の初期値で、取付け後は、ベース板やヒートシンクの反り量によって変動致します。
準備したパワーモジュールに必要なグリースの量を算出します。

計算例：ベース板サイズ 110×89 (PM100CSD060)、グリースは信越化学工業(株) G-746 の場合

$$100 \sim 200 \mu\text{m} = \frac{\text{グリースの量}[\text{g}]}{97.9[\text{cm}^2] \times 2.66[\text{g}/\text{cm}^3]}$$

∴ グリース量 ≒ 2.6～5.2 [g] となります。

- ③準備したパワーモジュールの質量を計測します。
- ④電子質量計を使ってパワーモジュールのベース板に、①で算出したグリースの量を加えます。
グリースの加え方は特に指定しておりません。
- ⑤加えたグリースをへら(又ローラー)で均一になるようベース板全面に伸ばします。

他にはグリースのマスク印刷があります。

最終的に、目的の厚みがパワーモジュールのベース板全面でほぼ均一となる方法であれば、方法は問いません。

- ⑥ヒートシンク取付け後に、はみ出すグリースを全て拭取らない方が、接触面のグリースの経年変化を抑制する効果が上がることがあります。

半導体用熱伝導性グリース(例)

メーカー	製品例	備考
信越化学工業株式会社(信越シリコン) モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ・ジャパン合同会社	KS-613, G-747 他 YG6260, YG6260V	
ALCAN	UNIVERSAL JOINTING-COMPOUND	非絶縁形モジュール用

詳細仕様、購入ルートなどについては各メーカーへお問合せ願います。

パワー素子の実装配置

10-5. IPMと回路の接続

IPMの制御端子は直接、制御基板(プリント基板)に接続する構造です。IPMのインターフェイス回路を直接接続することで、信号・電源配線距離が短くなり、ノイズ耐量が向上します。

L1B, L1Cタイプは制御基板と半田で接続する端子構造で、制御端子は錫メッキ処理されています。

L1A, S1Dタイプは推奨コネクタで制御基板と接続することが出来ます。接触抵抗を減らすため、制御端子は金メッキ処理されています。

主端子はネジまたは半田による接続です。

IPM タイプ	接続方法とコネクタ名称
PM50RL1C060 PM25RL1C120 PM50RL1B060, PM50CL1B060 PM75RL1B060, PM75CL1B060 PM100RL1B060, PM100CL1B060 PM150RL1B060, PM150CL1B060 PM25RL1B120, PM25CL1B120 PM50RL1B120, PM50CL1B120 PM75RL1B120, PM75CL1B120	主端子： 半田付けによる接続 制御端子： 半田付けによる接続
PM50RL1A060, PM50CL1A060 PM75RL1A060, PM75CL1A060 PM100RL1A060, PM100CL1A060 PM150RL1A060, PM150CL1A060 PM200RL1A060, PM200CL1A060 PM300RL1A060, PM300CL1A060 PM25RL1A120, PM25CL1A120 PM50RL1A120, PM50CL1A120 PM75RL1A120, PM75CL1A120 PM100RL1A120, PM100CL1A120 PM150RL1A120, PM150CL1A120	主端子： ネジによる接続 (screw:M5). 制御端子： 推奨コネクタによる接続. DF10-31S-2DSA(68), or DF10-31S-2DSA(62) (ヒロセ電機株式会社)
PM50CS1D060, PM75CS1D060 PM100CS1D060, PM150CS1D060 PM200CS1D060 PM25CS1D120, PM50CS1D120 PM75CS1D120, PM100CS1D120	主端子： ネジによる接続 (screw:M4). 制御端子： 推奨コネクタによる接続. MDF7-25S-2.54DSA(31), or MDF7-25S-2.54DSA(32) (ヒロセ電機株式会社)

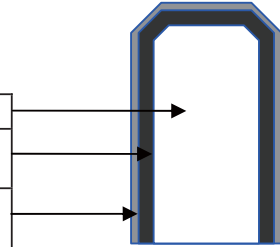
パワー素子の実装配置

10-6. IPM の端子

(1) IPM の制御端子の材質 (L1-シリーズ RL1A, CL1A タイプ /S1-シリーズ)

IPM側の制御端子の材質・表面処理を示します。

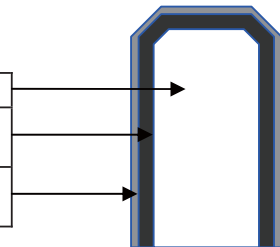
主材	真鍮(黄銅)	
表面処理	下地	ニッケル(Ni) 厚み= 1 ~ 5 um
	表面	金 (Au) 厚み= 0.05 ~ 0.2 um



(2) IPM の制御端子の材質 (L1-シリーズ RL1B, CL1B タイプ)

IPM側の制御端子の材質・表面処理を示します。

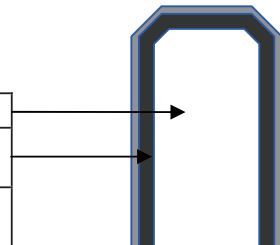
主材	真鍮(黄銅)	
表面処理	下地	ニッケル(Ni) 厚み= 1 ~ 6 um
	表面	錫 (Sn) 厚み= 4 ~ 10 um



(3) IPM の制御端子の材質 (L1-シリーズ RL1C タイプ)

IPM側の制御端子の材質・表面処理を示します。

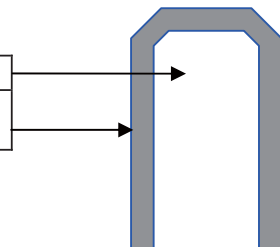
主材	真鍮(黄銅)	
表面処理	下地	ニッケル(Ni) 厚み= 0.5 ~ 1 um
	表面	錫 (Sn) 厚み= 2 ~ 6 um



(4) IPM の主端子の材質

IPM側の主端子の材質・表面処理を示します。

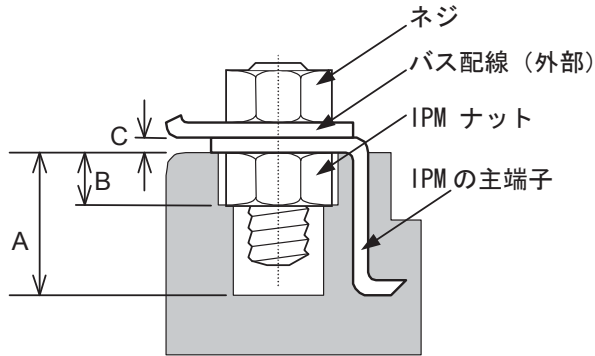
主材	銅	
表面処理	表面	ニッケル (Ni) 厚み= 2 ~ 6 um



パワー素子の実装配置

(5) IPMの主端子(ネジタイプ)

主端子部の構造を以下に示します。



構造(タイプ)	ネジ	IPM ネジ穴深さ 図記号 A (mm)	IPM ナット厚み 図記号 B (mm)	IPM 主電極厚み 図記号 C (mm)
L1-シリーズ RL1A/CL1A	M5	Typ. 9.5/ min. 9.0	Typ. 4.0	Typ. 0.8
S1-シリーズ	M4	Typ. 6.5/ min. 6.0	Typ. 3.3	Typ. 0.8

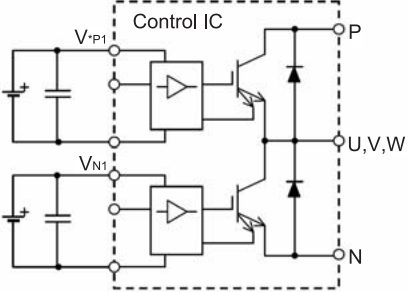
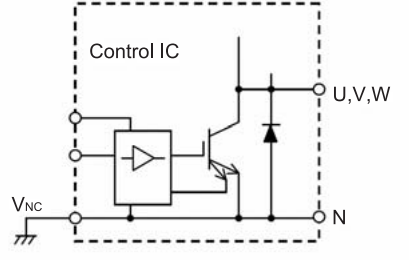
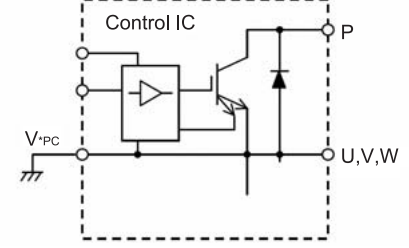
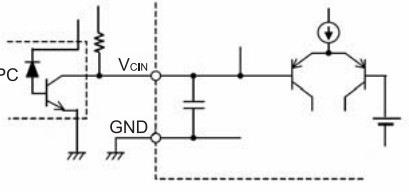
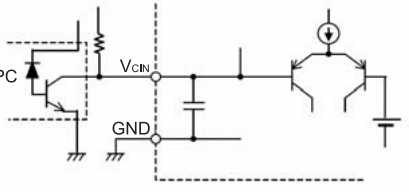
(6) IPMのガイドピン

IPMの制御端子部の両側にあるガイドピンは金属（真鍮）ですが、内部は絶縁されており、どの部分にも接続されていません。

IPM の使い方

11. IPM の使い方

11-1. IPM の端子記号の説明

No	名称	記号	等価回路	動作 (説明)
1	電源	V_D V_{UP1} V_{VP1} V_{WP1}		<p>IPMに内蔵の制御 IC の電源端子です。 N 側(下アーム)、P 側(上アーム)共に個別に絶縁した電源を印加します。L1/S1 シリーズでは、下側共通で計 4 個の独立した電源が必要です。</p> <p>DC13.5V 以下では、UV 保護が働きます。この状態では、Fo 信号を出し、制御信号を入力しても動作しません。 DC16.5V 以上では、IGBT のゲート特性により短絡時の動作を保障できません。 基準値は DC15V であり、ノイズと電源リップルによる誤動作を抑えるため周波数特性の良いコンデンサを IPM の端子の直近に接続してください。</p>
2	グラウンド	V_{NC}		<p>N 側の基準電源用 GND です。L1/S1 シリーズでは N 側 3 相分共通です。 制御電源の GND になるのでノイズの影響を避けるため、母線電流は流れない様にしてください。この端子と N 端子を基板上のパターンで接続しないで下さい。 内部では、インバータ GND の N 端子と接続されています。しかし、パターンの寄生インダクタンスにより実動作時に N-V_{NC}間に電位差が生じることがあります。</p>
		V_{UPC} V_{VPC} V_{WPC}		<p>各相 P 側の基準電源用 GND です。 ノイズ耐性を向上させるため、電源インピーダンスは可能な限り低くして下さい。 U, V, W の各相間は絶縁してください。</p>
3	制御信号	U_P V_P W_P U_N V_N W_N		<p>IPM のスイッチングを制御する入力端子です。電圧入力で作動します。 内部は、コンパレータに接続されます。通常、外部に絶縁用フォトカプラと制御電源へのプルアップ抵抗を接続して使用します。 ノイズに敏感ですので、制御信号配線パターンは最短として配線に注意してください。 また、電源-GND 間には、周波数特性の良いコンデンサを IPM の直近に接続してください。</p>
4	ブレーキ制御信号	Br		<p>R**タイプ (RL1A など) で使用する端子です。 モータ減速時の再生電流により、PN 間電圧が上昇するのを防ぐ目的で使用します。 内部は、コンパレータに接続されます。通常、外部に絶縁用フォトカプラと制御電源へのプルアップ抵抗を接続して使用します。 制御信号端子と同じ構造であり、ノイズに敏感ですので、制御信号と同様の対策が必要です。</p>

IPM の使い方

5	エラー 出力	F _o		<p>IPM の異常状態を示す出力端子です。 異常モードは、過熱・短絡・制御電源電圧低下の 3 つです。但し、これらの種類の区別はできません。 端子は、抵抗をシリーズに接続したオープンコレクタ（ドレイン）になっています。 この端子と VD との間に、フォトカプラまたは LED を直接接続できます。</p>
6	インバータ 電源	P		<p>インバータの電源 (VCC) 端子です。 通常は、AC ラインをコンバータで整流した後のプラス (+) 側を接続します。内部では、P 側 IGBT のコレクタに接続されています。 パターンのインダクタンス成分によるサージ電圧抑制するため、平滑コンデンサは、P, N 端子の直近に接続してください。また、スナバコンデンサを接続してください。</p>
7	インバータ GND	N		<p>インバータの電源 GND です。 通常は、AC ラインをコンバータで整流した後のプラス (-) 側を接続します。内部では、N 側 IGBT のエミッタに接続されています。 更に、基準用の制御 GND の V_{nc} と接続されています。しかし、IPM 内部の寄生インダクタンスにより、実動作時には、V_{nc}=N 間に電位差が生じることがあります。</p>
8	出力	U V W		<p>インバータ出力用の端子です。 通常は、AC モータなどの負荷を接続します。 サージ電圧の発生に注意して下さい。</p> <p>内部では、ハーフブリッジで構成された IGBT の中点 (P 側 IGBT のエミッタ、N 側 IGBT のコレクタ) に接続されています。</p>
9	ブレーキ 出力	B		<p>R**タイプ (RL1A など) で使用する端子です。 モータ減速時の再生電流により、PN 間電圧が上昇するのを防ぐ目的で使用します。 通常は、P 側との間に電力消費用抵抗 (ブレーキ抵抗) を接続します。</p> <p>AC モータをインバータ駆動する時の再生電流を前提に設計されています。U, V, W のインバータ部に使用している IGBT 電流定格の 50% の電流定格の IGBT を使用しています。 特殊な制御をして過大な電流が流れるような使用には対応できません。</p>

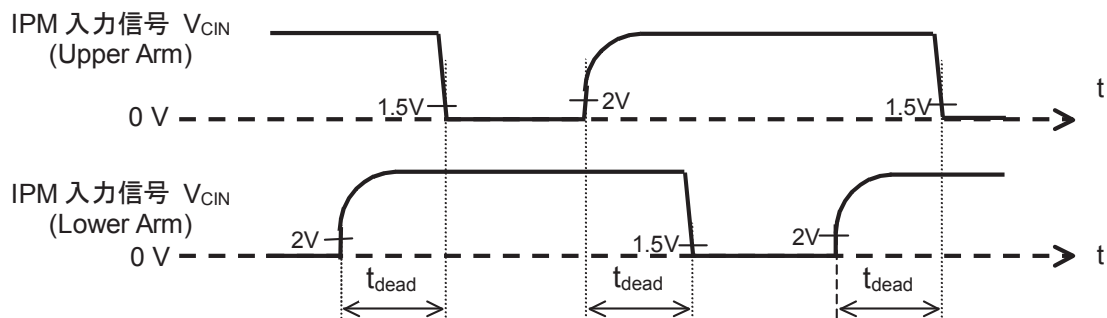
IPM の使い方

11-2. IPM の機能

機能	記号	機能の内容
通常駆動	-	<ul style="list-style-type: none"> 入力信号が $V_{CIN(off)}$ より高いとき ($V_{CIN} > V_{CIN(off)}$) IGBT がオフ 入力信号が $V_{CIN(on)}$ より低いとき ($V_{CIN} < V_{CIN(on)}$) IGBT がオンするように駆動します。
短絡保護	SC	<ul style="list-style-type: none"> IGBT の順方向コレクタ電流を IGBT チップ内蔵の電流センサで検出し、SC レベル (SC トリップレベル) を超える電流が流れたとき短絡状態と判定し、IGBT をソフト遮断します。 N 側アームのいずれかの IGBT に短絡状態が発生した場合は、N 側アームのオン状態にある全 IGBT (U_N, V_N, W_N, B) がソフト遮断します。 短絡によるエラー出力は、IGBT に短絡が発生した時出力し、短絡状態と判断し一定の時間 (t_{Fo}) 出力します。 短絡保護状態からのリセットは、入力信号 (V_{CIN}) がオフレベル時に短絡状態が解除されていれば、次の入力信号の立ち下がりでリセットされ、通常動作を再開します。
過熱保護	OT	<ul style="list-style-type: none"> IGBT チップに搭載された温度センサでチップ表面温度を検出し、OT レベル (OT トリップレベル) 以上になると過熱状態と判断し、IGBT を遮断します。 過熱によるエラー出力は、OT トリップレベル以上となってから、OT リセットレベル以下となるまでの間、出力します。 過熱保護状態からのリセットは、N 側アーム IGBT それぞれの、入力信号 (V_{CIN}) がオフレベル時に過熱状態が解除されていれば、次の入力信号の立ち上がりでリセットされ、通常状態を再開します。 過熱状態は、チップ表面温度が OT リセットレベル以上となってから、OT リセットレベル以下となるまでと判定します。
制御電源電圧低下保護	UV	<ul style="list-style-type: none"> 制御電源電圧を検出し、UV レベル (UV リセットレベル) 以下の電圧が一定時間以上継続すると、IGBT をソフト遮断して、制御電源電圧低下状態の間、IGBT を遮断します。 N 側アームの制御電源電圧低下状態が発生した場合は、N 側のアーム入力が入っている全 IGBT (U_N, V_N, W_N, B) がソフト遮断します。 制御電源電圧低下状態は、UV トリップレベル以下となってから、UV リセットレベル以下となるまでと判断します。 制御電源電圧低下によるエラー出力は、t_{dUV} 後から、UV リセットレベル以上となるまでの間、出力します。 制御電源電圧低下保護状態からのリセットは、IGBT それぞれの、入力信号 (V_{CIN}) のオフレベル時に制御電源電圧低下状態が解除されていれば、次の入力信号の立下りでリセットされ、通常動作を再開します。
保護動作時ソフト遮断	-	<ul style="list-style-type: none"> 各要因による保護動作で IGBT を遮断する際に IGBT のゲート電圧を除々に下げ、IGBT の遮断に伴うサージ電圧の発生を抑制します。
エラー出力	F_O	<ul style="list-style-type: none"> SC, OT, UV の確保誤動作時に 1msec 以上 (typ. 2msec) の間 VNC 端子に対して導通します。内部に 1.5kΩ の抵抗が直列に接続されています。

デットタイム (t_{dead})

IPM の各アーム入力信号に上下アーム休止時間 (デットタイム) を設定する必要があります。IPM 内部で自動的に生成する機能はありません。IPM のデットタイプは、IPM の端子部で測定し、フォトカプラのデットタイムは含まれません。



1.5V: 入力 ON しきい電圧 $V_{th(on)}$ (typical), 2V: 入力 OFF しきい電圧 $V_{th(off)}$ (typical),

IPM の使い方

11-3. IPM の安全動作領域

IPM は IGBT の駆動回路と保護回路を内蔵していますので、過電圧を除く、多くの異常モードから IGBT を保護します。IPM は保護回路を内蔵していますので、IGBT モジュールの様な、SOA (安全動作領域) は定義されていません。IPM の保護回路は、内蔵する IGBT 素子の SOA 内で保護するように設定されています。

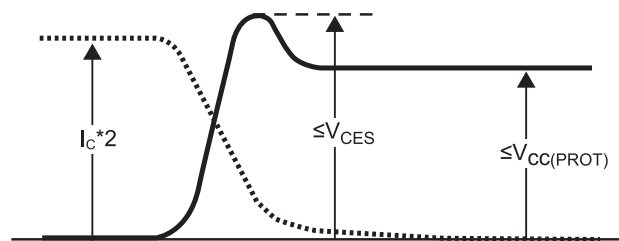
IPM の安全動作領域は、以下のように定義されます。

(1) ターンオフスイッチング SOA

通常、IGBT のスイッチング SOA は、最大電圧 (耐圧) と最大電流で定義されます。IPM は保護機能がありコレクタ電流は SC 保護により制限されます。IPM の場合、SC トリップレベルまでの間、スイッチング動作が可能です。一方、電圧に関しては、IPM 内部のインダクタンスによって発生するサージ電圧および、IPM と平滑コンデンサ間の配線インダクタンスによって発生するサージ電圧が、IPM の耐圧 (V_{CES}) 以下に収まる必要があります。

IPM のターンオフスイッチング SOA は下図の様に定義されます。

条件： V_{CES} および V_{CC}(PROT) ≤ 定格値、V_D=13.5V~16.5V、T_j=125°C



ターンオフスイッチング SOA

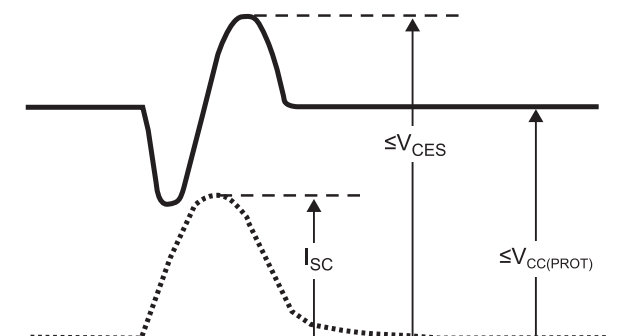
(2) 短絡 SOA

IPM は SC 保護回路を内蔵しています。短絡電流は、IPM の SC 保護レベルと短絡配線のインダクタンスによって決まりますので、通常、IPM が破壊に至る電流が流れることはありません。一方、電圧に関しては、IPM 内部のインダクタンスによって発生するサージ電圧および、IPM と平滑コンデンサ間の配線インダクタンスによって発生するサージ電圧が、IPM の耐圧 (V_{CES}) 以下に収まる必要があります。

短絡保護は、制御電源電圧 16.5V、主電源 (P-N 間) 電圧 V_{CC}=400V において保障されます。主電源電圧が V_{CC}(PROT)=400V 以下であり、主回路配線 (IPM と平滑コンデンサ間) のサージ電圧が V_{CC}(surge)=500V 以下に抑えられれば、IPM の内部サージを考慮しても、IPM の耐圧 (V_{CES}) 以下に収まります。主回路配線のサージ電圧は、コンデンサナバなどで低減させてください。

IPM の短絡 SOA は下図の様に定義されます。

条件： V_{CES} および V_{CC}(PROT) ≤ 定格値、V_D=13.5V~16.5V、T_j=125°C



短絡 SOA

IPM の使い方

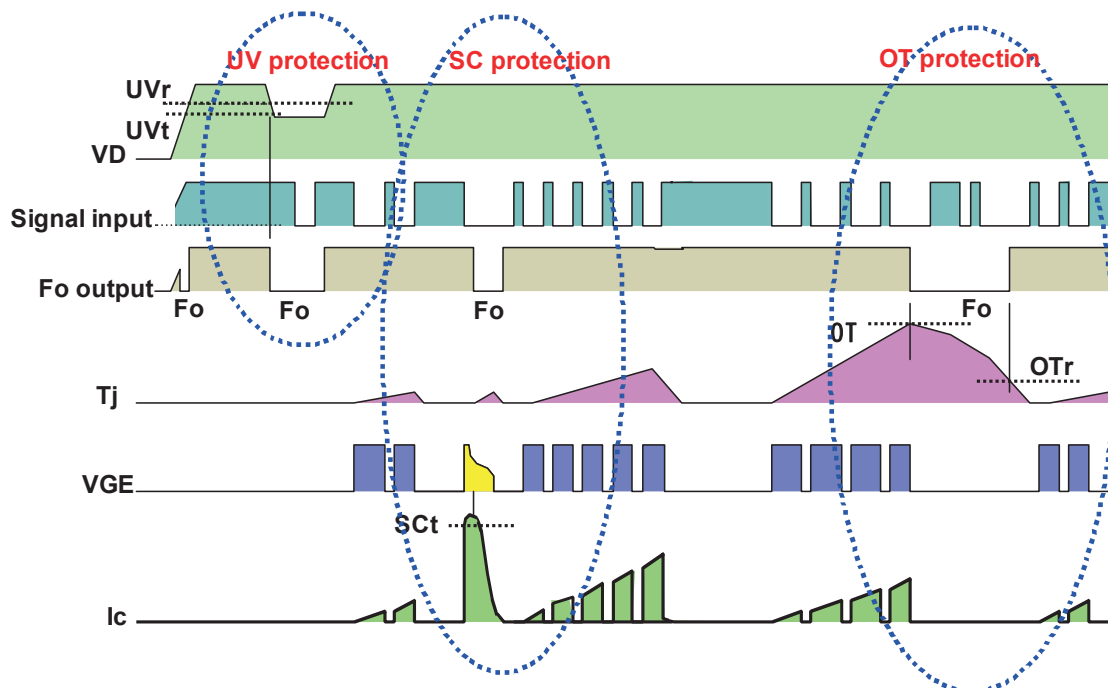
(3) 活性部動作

IPMには、制御電源電圧低下保護機能があり、電源電圧 $V_D=13.5V$ 以下 ($12.5V_{typ.}$) で IGBT をオフします。IGBT モジュールの様に、ゲート電圧の低い状態で IGBT を動作させることはできません。IPM では、電源電圧を $13.5V \sim 16.5V$ の間での使用を推奨しています。電源電圧が $13.5V$ 以下から UV 保護トリップレベルの間は保護が働かないグレースゾーンになりますが、推奨電圧範囲内で動作させる限り、IPM が活性部動作で破壊する可能性は少なくなっています。SC、UV、OT は、P 側の場合、エラーが発生した相の IGBT のみを個別にオフさせます。この時、N 側の各相はスイッチング可能です。一方、N 側ではエラーが発生した相にかかわらず、N 側 3 相 (+ブレイク部) 全ての IGBT をオフさせます。この時、P 側の各相はスイッチング可能です。

11-4. IPM の Fo 信号

IPM は異常の発生要因に合わせて 3 種類の保護回路が働きます。SC (短絡保護)、OT (過熱保護)、UV (制御電源電圧低下保護) です。IPM は非繰返しの異常に対して、各種の保護回路が動作するようにしています。

IPM を使用して装置を設計されるときは、最大定格を越えたストレスを定常的に(繰り返して)印加しないように配慮してください。エラー信号 (Fo) が出力されたときは、IPM の保護動作だけに依存せず、制御入力信号を停止して、動作を停止させなければなりません。IPM は、異常の原因を排除するものではないので、システム側で異常処理をする必要があります。(エラー信号がリセットされても、リセット以降の正常動作を保証するものではありません。)



制御電源電圧低下保護 : Control Supply Under-Voltage (UV)

UV は、制御電源電圧が低下した時に生じる IGBT の $V_{CE(sat)}$ 損失増加=熱破壊を防止するために、制御電圧を検出し、設定電圧 (UV トリップレベル) 以下になると IGBT チップを強制的にオフします。

UV を検出するには、IC 内部に約 $10\mu s$ のフィルター回路が付加されていますので、約 $10\mu s$ 以上の間、UV 以下が続くことが必要です。制御電源に急峻なリップルが加わると、内部の制御 IC が誤動作して、電源電圧低下保護が動作することがあります。ノイズの少ない安定した電源を供給してください。

UV はヒステリシスを持った設定電圧 (UV_r リセットレベル) 以上になると、保護動作を解除します。その間はエラー信号を出力し続けるため、 F_o のパルス幅は一定ではありません。最小の F_o パルス幅は、内部タイマー回路の $typ=1.8ms$ です。

IPM の使い方

過熱保護 : Over Temperature (OT)

OT は IGBT 素子のチップ表面温度を直接検出し、設定温度 (OT トリップレベル) 以上になると、IGBT チップをオフします。OT にはコンデンサによるフィルター回路が付加されています。OT はヒステリシスを持った設定温度 (OTr リセットレベル) 以下になると保護動作を解除します。その間はエラー信号を出力し続けるため、Fo のパルス幅は一定ではありません。最小の Fo パルス幅は、内部タイマー回路の $t_{yp}=1.8ms$ です。

過熱保護が動作する原因は、恒常的な過負荷かまたは周囲環境の異常です。

過渡的な過負荷 (IPM を組み込んだサーボアンプがモーターロックで大電流が流れ、IGBT チップの接合温度が急激に上昇したとき) や特定の素子のみに通電するような場合 (ブレーキ用 IGBT を高周波でスイッチングさせる) などには、完全には対応出来ないことがあります。このような過負荷も含めて、熱設計は確実にこなしてください。

短絡保護 : Short Circuit (SC)

SC は短絡破壊を防止するために、IGBT の順方向コレクタ電流を検出して、SC トリップレベルの設定電流以上になると IGBT をオフにします。SC 検出は、高速 (約 $1\mu s$ のパルスに回答) に検出するようにしています。

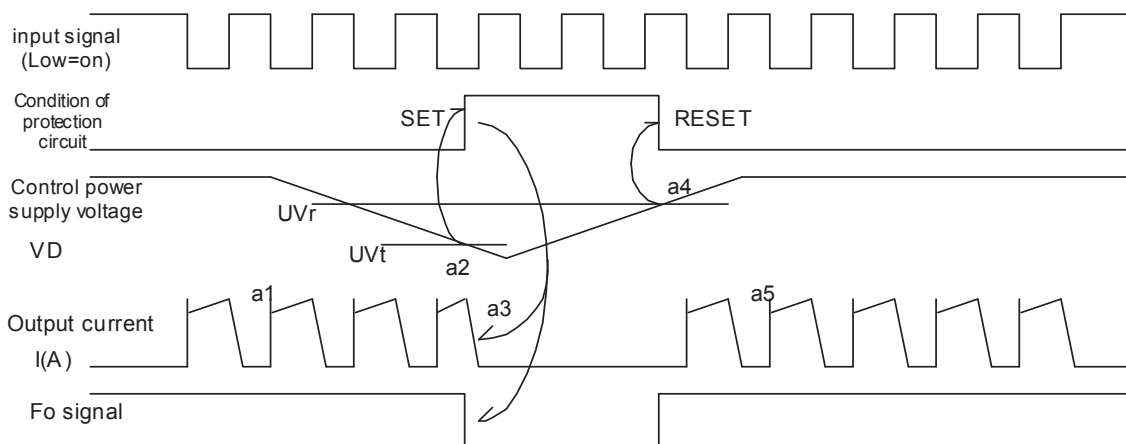
短絡時には、SC 検出 > 保護 > 遮断で停止しますが、保護停止時間は一定 ($t_{yp}. 1.8ms$) であり、ラッチされたままではありません。このため、引き続き入力端子に PWM 信号を受けると、タイマー終了 (Fo 解除) 後にリセットされて再度スイッチングします。短絡条件が続いていれば、短絡と保護を繰り返します。

このような動作は、IGBT チップの限界付近での使用方法ですので、過度のチップ温度上昇を招き、熱破壊する誘因となります。安全に使用できるように原因を取り除いてから再スタートさせてください。

注意) SC は、IGBT と逆並列に接続されたフリーホイールダイオード (FWDi) に流れる回生電流は検出していません。雷サージ等の外来ノイズやマイコンの暴走で、IPM の入力端子が同時 ON になり、短絡する可能性は、インバータの製品寿命中に数回程度だろうと想定しています。短絡の繰り返し回数は保証していませんが、弊社での短絡耐量試験では 100 回以上の実力があります。

UV 保護動作シーケンス

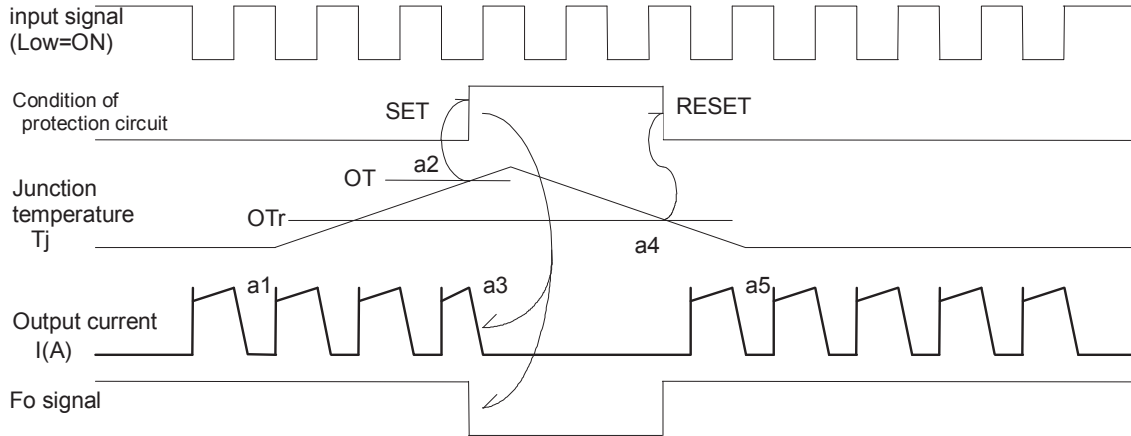
- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| a1. 正常動作 = IGBT オン = 出力電流あり | |
| a2. 制御電源電圧低下 (UVt) | ← $10\mu s$ ノイズ除去含む |
| a3. IGBT オフ | ← 制御入力の状態に関らず、オフ |
| a4. 制御電源電圧低下 (UVr) | ← $10\mu s$ ノイズ除去含む |
| a5. 正常動作 = IGBT オン = 出力電流あり | |



IPM の使い方

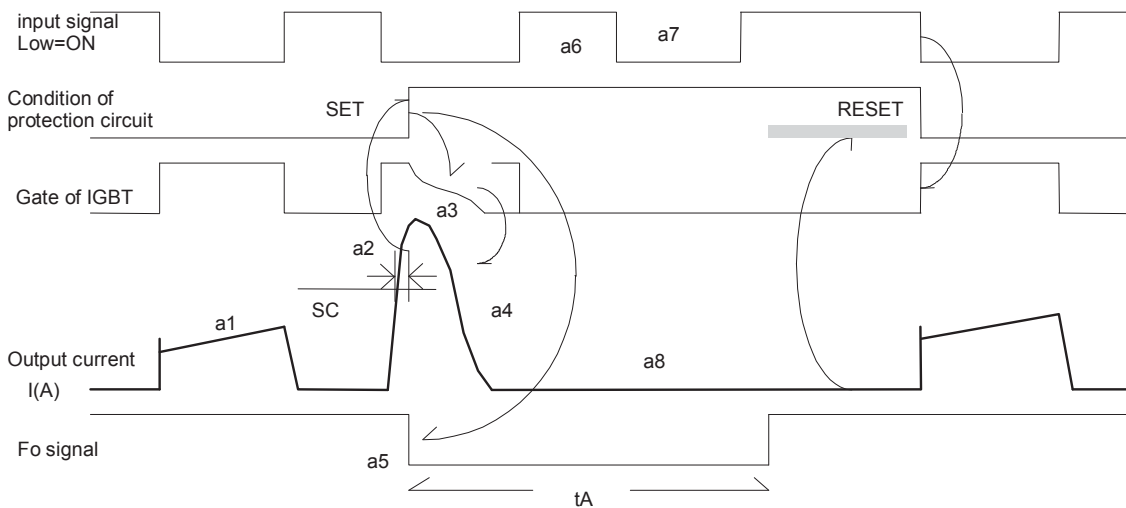
OT 保護動作シーケンス

- a1. 正常動作=IGBTオン=出力電流あり
- a2. 過熱検出 (OT) ←ノイズフィルター含む
- a3. IGBTオフ ←制御入力の状態に関らず、オフ
- a4. 過熱検出リセット(OTr) ←ノイズフィルター含む
- a5. 正常動作=IGBTオン=出力電流あり



SC 保護動作シーケンス

- a1. 正常動作=IGBTオン=出力電流あり
- a2. 短絡電流検出 (SCTリガ)
- a3. IGBTゲートをソフト遮断
- a4. IGBT 緩やかにオフ
- a5. Foタイマー動作開始 →パルス幅固定 : tA(typ1.8msec)です
- a6. 入力="H"=オフ
- a7. 入力="L"=オン
- a8. IGBTはオフのまま ←(a6~a7)が tA より短い時間で起きたとき



IPM の使い方

11-5. インターフェイス回路に要求される事

IPM は高電圧を高速でスイッチングさせるため、ノイズ（高 dv/dt ）が発生します。入力信号の絶縁には、通常、フォトカプラを用います。フォトカプラの選定によっては、IPM で発生する高 dv/dt により、フォトカプラが誤動作する事があります。フォトカプラを誤動作させないためには、配線レイアウトが重要です。フォトカプラ出力が、高 dv/dt の影響を受けないよう、配線距離、パワー系との配置が重要になります。インターフェイス回路の配線設計上の注意事項を以下に示します。

インターフェイス回路の配線設計上の注意

- a) 制御信号の 1 次側-2 次側間（通常、フォトカプラ使用）、および、各相間（N, U, V, W）の絶縁を確保してください。配線間距離を保ち、場合によっては、基板にスリットを入れるなどして絶縁距離を確保する必要があります。
- b) 各電源間（N, UP 電源、VP 電源、WP 電源）の絶縁が必要です。配線間距離を保ち、場合によっては、基板にスリットを入れるなどして絶縁距離を確保する必要があります。
- c) IPM の制御（入力）信号配線（フォトカプラ出力-IPM 入力端子間）は、極力短く配線する必要があります。配線が長いとノイズが重畳し、IPM が ON 信号と認識して IGBT がオンする事があります。配線距離は 2cm 以下程度が理想です。
- d) 制御電源端子間、および、フォトカプラには、セラミックコンデンサなどの周波数応答の良いコンデンサを、IPM 端子およびフォトカプラ直近に接続してください。IGBT のスイッチングや、電源回路で発生するノイズを吸収させ、IPM の制御電源が変動しないようにしてください。
- e) プリント基板にシールド層を設け、 dv/dt による制御系への影響を抑えてください。特に、パワー系（主回路配線および、P 側制御電源配線）と制御系配線が交差すると、基板の寄生容量により dv/dt の影響を受け、制御系が誤動作する事があります。
- f) IPM の入力端子に使用するフォトカプラは、高速タイプで、高 CMR のものを選択してください。
 $t_{PLH}, t_{PHL} < 0.8\mu s$
 $CMR > 10kV/s @ V_{CM} = 1500V$
 例としては、TLP-559 (IGM), TLP-759 (IGM) (TOSHIBA), HCPL-4506 (AVAGO), PS9613 (NEC) などがあります。
 通常、フォトカプラの直近に 0.1 μF 程度のデカップリングコンデンサを接続します。
- g) ノイズの影響を抑えるためには、入力信号（フォトカプラ出力）のプルアップ抵抗はなるべく低く設定しインピーダンスを下げる必要があります。また、フォトカプラ ON 時に、IPM の入力しきい電圧 $V_{CIN(on)}$ を確保できる様、プルアップ抵抗とフォトカプラの入力電流 I_F を設定してください。
 注) プルアップ抵抗を下げすぎるとフォトカプラの寿命に影響します。フォトカプラの寿命も考慮して設定してください。
- h) IPM を単相で使用する場合には、使用しない相にも制御電源 15V を供給し、Fo 端子、入力端子をそれぞれの 15V にプルアップさせてください。
- i) Fo 端子を使用しない場合は、外来ノイズによる IPM の停止を避けるため、それぞれの 15V 電源にプルアップさせる必要があります。

IPM の使い方

11-6. IPM の制御電源電圧

リップルを含めて電圧範囲は、規格内に入るようにしてください。

制御電圧 (V_{DC})	内 容
0~4.0	電源を入れない状態と同じです 外来ノイズで誤動作(オン)することがあります 電源電圧低下保護(UV)は動作せず、Fo も出力しません
4.0~12.5	制御入力信号を加えても、スイッチング動作を停止しています 電源電圧低下保護(UV)が動作し、Fo を出力します
12.5~13.5	スイッチング動作します 但し推奨範囲外ですので、IPM の仕様書で規定している $V_{CE(sat)}$ ・スイッチング時間共に規格値をはずれてコレクタ損失が増加し、接合温度が上昇します
13.5~16.5	正常動作します 推奨電圧範囲です
16.5~20	スイッチング動作します。但し推奨範囲外です。 短絡時にはその電流ピーク値が大きくなりすぎて、チップの耐量を超えて破壊することがあります
20.0~	IPM 内の制御回路及び IGBT ゲート部が破壊されます

電源のリップルノイズの規定

制御 IC の電源ラインに高周波ノイズが重畳されると、IC が誤動作して Fo を出力し、更には出力を停止(ゲート遮断)することがあります。
この誤オフを回避するために、ノイズの立ち下がり成分が $\pm 5V/\mu s$ より緩やかになるよう、また、リップル電圧の振幅が 2V より小さくなるように、電源回路を設計してください。

$$\text{規定: } \frac{dv}{dt} \leq \pm 5V/\mu s, V_{\text{ripple}} \leq 2V_{p-p}$$

電源ラインに現れるノイズの成分が高周波(パルス幅 < 約 50nsec 以下、パルス高 < 約 5V 以下)であり、かつ Fo が出ていない時は、通常そのノイズを無視できますが、制御電源はより低インピーダンスである方が望ましいので、パターンレイアウトに注意してください。
平滑コンデンサや周波数特性の良いパスコンを IPM の直近に接続することは、誤動作対策に効果的です。

制御電源電圧の立ち上げ/立ち下げシーケンス

制御電源は、主電源(P-N 間の電源)よりも早く立ち上げてください。

制御電源の立ち下げは、主電源よりも遅く立ち下げてください。

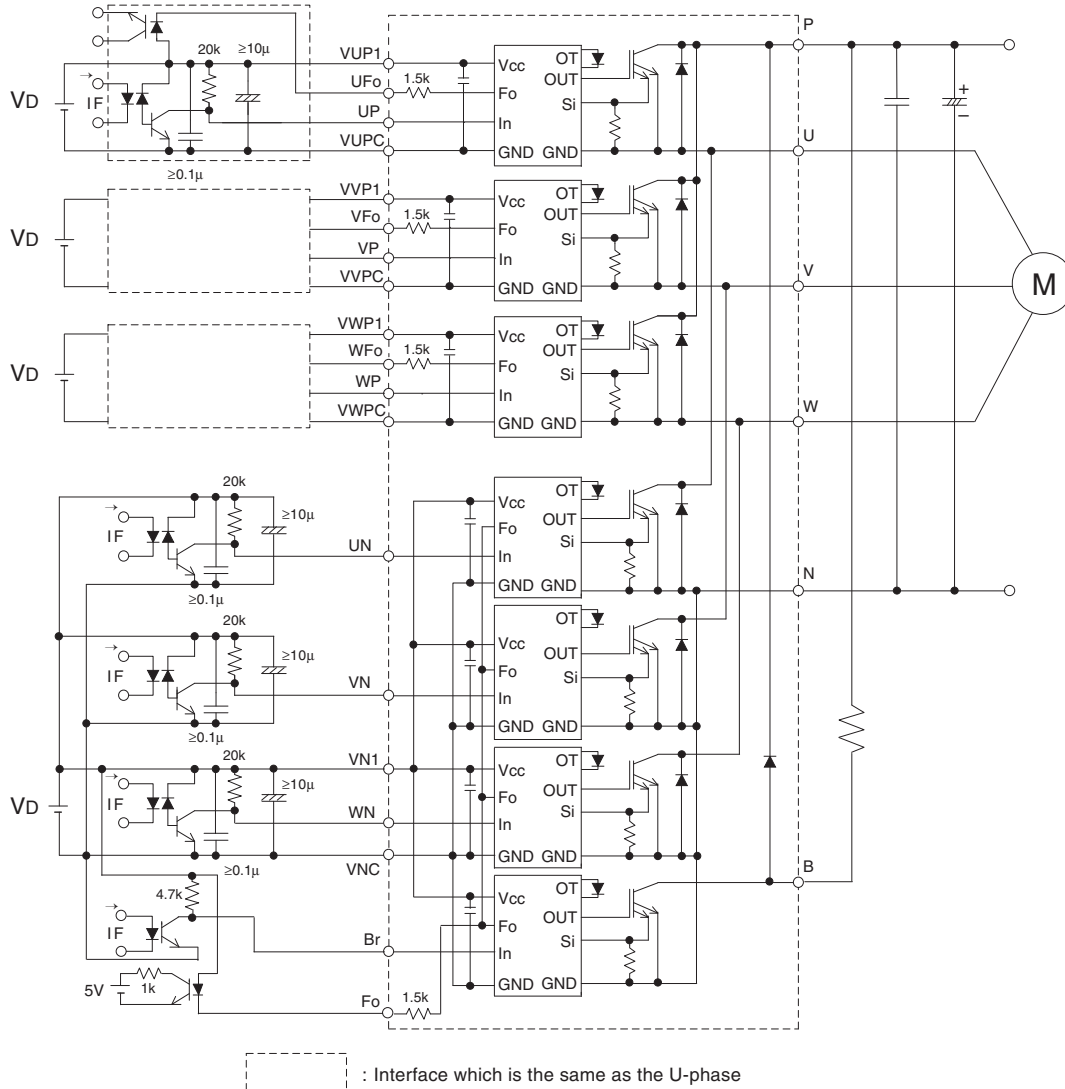
制御電源が不安定な状態で主電源が先に立ち上がっているか、または主電源が残っていると、IPM は外来ノイズで誤動作することがあります。

3 相インバータに適用する場合、P 側(上アーム)は 3 相すべて各々絶縁された制御電源を使用してください。N 側(下アーム)は 3 相およびブレーキ部共通の電源を使用できるので、計 4 個の制御電源を使用します。

IPM の使い方

11-7. IPM L1/S1-シリーズのモータ駆動用途への応用

例) 7in1 PM**RL1A060, PM**RL1A120)



安全に、ご使用頂くための注意事項

- フォトカプラと IPM の端子間配線はできるだけ短くし、フォトカプラの 1・2 次間の浮遊容量を増加させないパターンレイアウトとしてください。
- 高速フォトカプラ： $tp_{LH}, tp_{HL} \leq 0.8\mu s$ 、高 CMR タイプをご使用ください。
- また、IPM との配線はできるだけ短くし、浮遊容量を最小とするレイアウトでご使用ください。
- 低速フォトカプラ：CTR>100%
- 各制御電源は、瞬時変動の小さい、絶縁したものを 4 個独立して供給してください。また、各制御電源端子には高周波インピーダンスの低いコンデンサを近接して取り付けするなどして、過渡的な電圧変動をできるだけ小さくしてご使用ください。
- P-N 間の直流母線はできるだけ低インピーダンス化し、かつモジュールの P-N 端子間にスナバコンデンサを接続するなどして、サージ電圧を低減してください。
- AC ラインからのノイズ侵入を防ぐため、三相（单相）各線-大地間に 4.7nF 程度のコンデンサを接続してください。

IPM の使い方

11-8. IPMの制御側インターフェイス回路

IPMには、駆動回路および保護回路が内蔵されています。使用時には、電源の他に、制御信号を絶縁するフォトカプラなどの絶縁デバイスが必要です。

(1) IPM に接続するインターフェイス (I/F) の回路と定数

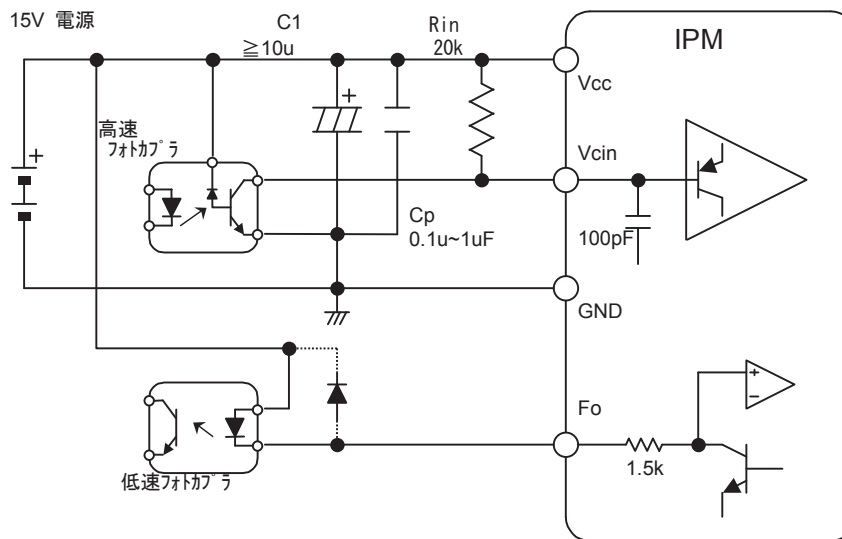
IPM とシステム制御側 (CPU) との接続に必要な部品は、

- 各相の入力端子部 (1) 高速フォトカプラ, (2) プルアップ抵抗
- エラー信号 (Fo) 端子 (3) コンデンサ (リップル除去用セラミックタイプ & 電源安定化用電解タイプ)
- 制御電源 (4) 低速フォトカプラ
- (5) 相互に絶縁された +15V の安定化電源 (4 系統) です。
(IGBT モジュールに必要な逆バイアス用のマイナス電源は不要です。)

インターフェイス回路の定数例

記号	名称	推奨 定数	注 記
Rin	プルアップ抵抗	20kΩ	ブレーキ端子を含む全端子共通
C1	平滑コンデンサ	10uF 以上	IGBT ゲートへの充放電電流, dv/dt 電流を吸収できること
Cp	バイパスコンデンサ	0.1~10uF 以上	
PC	フォトカプラ	高 CMR, CTR	例.) TLP-559(IGM), PS9613 etc

(2) インターフェイス回路と内部構造図例



(3) IPM の制御入力端子

この制御入力端子に電圧を与えることで、内部 IGBT のオン/オフスイッチングを制御します。制御信号は IGBT チップのゲートを直接ドライブしていないので、制御入力電圧をオン(オフ)しきい電圧以下(以上)で微調整しても、またプルアップ抵抗値を変更しても、IGBT のスイッチング特性・DC 特性は変化しません。このように IPM との関係だけから捉えると、しきい電圧を満たしているならば、プルアップ抵抗値は任意に設定可能です。但しプルアップ抵抗値を小さくすると、フォトカプラの1次・2次電流は増加させなければならず、その寿命に悪影響を与えます。また伝達遅延も悪化します。そこで、フォトカプラの CTR・経時特性を考慮して、上記値を提案しています。

ノイズ誤動作対策などのためにプルアップ抵抗値を小さくすることは可能です。その場合は、寿命を含むフォトカプラ特性とその1次・2次電流(=プルアップ抵抗値)との関係を、フォトカプラメーカーにお問い合わせ・確認された後で設定してください。

IPM の使い方

(4) IPM の制御側インターフェイスのフォトカプラの例

IPM の制御側インターフェイス回路に使用するフォトカプラの例を示します。
以下に示すフォトカプラは、推奨フォトカプラですが、動作を完全に保障するものではありません。

高速フォトカプラ

IPM の制御入力端子に使用します。
応答時間 (tPLH、tPHL) と CMR の値を重視します。
tPLH、tPHL 共に 0.8μsec 以下であり、高 CMR (CM_H、CM_L) タイプの製品を推奨します。
特に、リングング等の現象が起きないかを確認してください。

例)

PS9513 (NEC)
TLP559 (IGM), TLP759 (IGM) (Toshiba)
HCPL-4503, HCPL-4504, HCPL-4506 (Avago TECHNOLOGIES)

フォトカプラメーカーでは、特性を選別した IPM 専用品(別形名)を持っている場合があります。誤動作防止のために IPM 対応のフォトカプラを問い合わせ・発注してください。

低速フォトカプラ

IPM の F_o 出力ピンに使用します。CTR の値を重視します。
CTR が 100%以上の製品を推奨します。

例)

TLP-521 (Toshiba)
PS2502 (NEC)

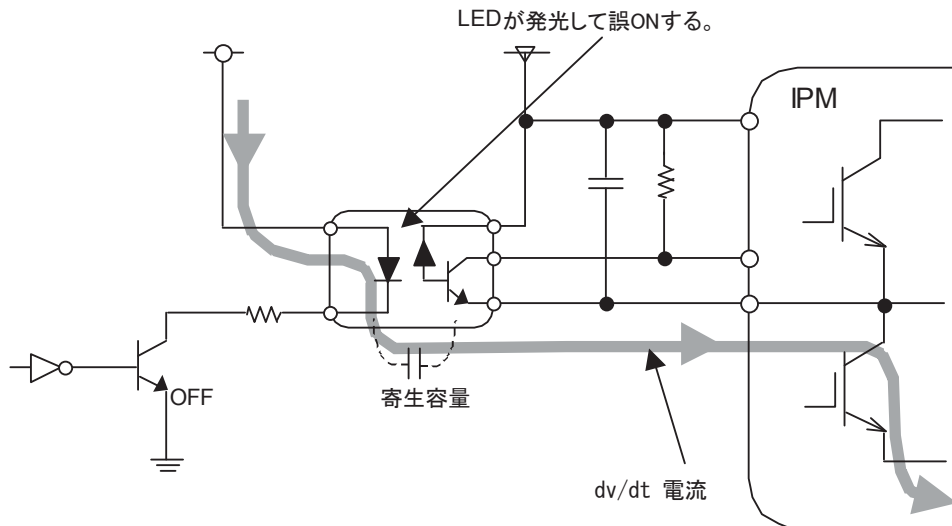
上記の製品がデータシートでは該当しますが、弊社で動作保証するものではありません。
想定している使用環境で問題なく動作するかどうかについては、詳細を各メーカー様までお問合せください。

IPM の使い方

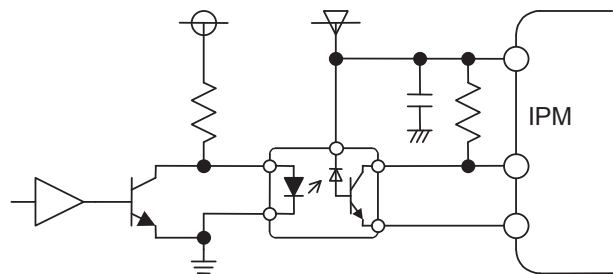
(5) フォトカプラ使用上の注意

「フォトカプラは1次2次間が電氣的に絶縁されているデバイスです。」----この表現は高周波的には正しくありません。なぜならフォトカプラの1次2次間には寄生容量があり、 dv/dt が与えられると、それを經由して1次側から2次側へパルス電流が流れるからです。

そこで、この dv/dt によって1次側(LED)電流が流れて誤オン信号にならないように、回路を設計することが重要になってきます。オフ信号時にはフォトカプラ1次側LED両端が低インピーダンスになるような回路構成にしてください。



フォトカプラ誤動作の例



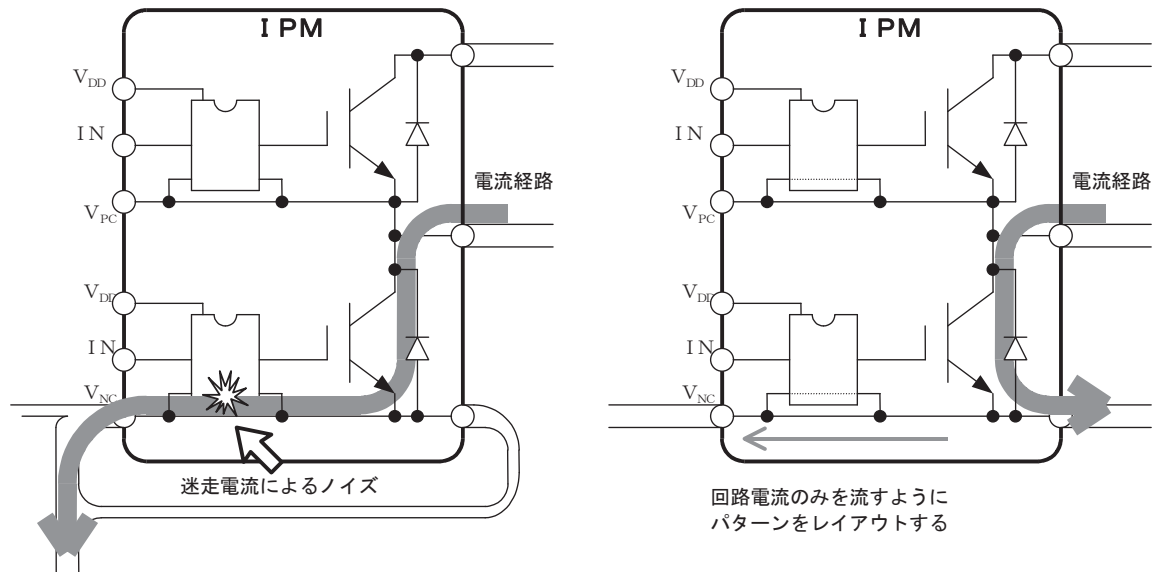
推奨回路例

この推奨回路例では、 dv/dt 電流はLEDを発光させないループで流れるので、誤オン信号になりません。フォトカプラ周辺の設計詳細については、各フォトカプラメーカーのアプリケーションノートを参考にしてください。

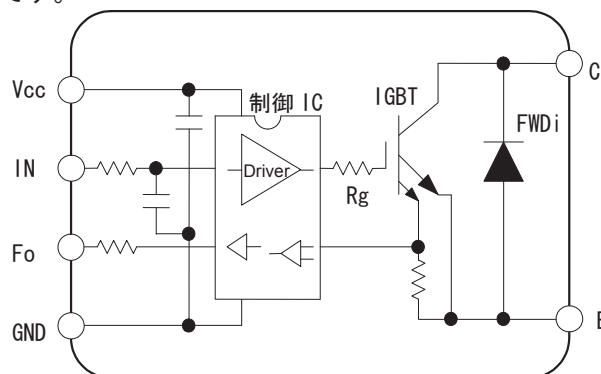
IPM の使い方

11-9. IPM 使用上のその他の注意事項

- (1) 制御電源グランド (V_{NC}/V_{PC}) と出力エミッタ (N または U/V/W) との接続について
 この両方の端子を IPM 外部の基板上でパターン接続しないことを推奨いたします。(ノイズの影響を受けやすいので、制御部の回路電流ループと母線電流ループは、分離して配線されることを推奨します)
 例えば、 V_{NC} と N の両端子は IPM 内部で接続されていますが、 V_{NC} には制御部の回路電流が流れ、N には母線電流が流れるように、IPM 外部のパターンを設計してください。 V_{NC} は制御 IC の電源の基準グランドですので、迷走電流 (本来 N を通るべき母線電流) が流れると、内部パターンの寄生インダクタンス成分で、N- V_{NC} 間に電位差が生じて、制御 IC のグランドレベルが変動し誤動作を起す場合があります。



- (2) IPM の内部構造 (回路) について
 IPM の内部は下図のようになっていて、IGBT チップ・FWDi チップ・制御 IC、および抵抗・コンデンサなどで構成されています。IGBT チップのゲート部は MOS 構造ですが、IPM の信号端子には直接接続されていません。制御電源・グランド・制御信号・Fo 出力の各信号端子は、内部制御 IC に接続されています。そこで、IPM を端子から見るとすべてバイポーラ構成であると見なせますので、MOS 構造の IC に対して行なう静電対策は、不要です。
 注) これは、全ての静電対策は不要であるということではなく、バイポーラロジック IC (TTL 等) と同等の取扱いで良いという意味です。



- (3) IPM の並列動作
 IPM は並列動作できません。
 IPM は駆動回路、保護回路をそれぞれの IPM に内蔵しており、並列動作させると、スイッチング時間のずれや、保護のタイミングがずれることにより、特定の IPM に電流が集中し破壊する恐れがあります。

IPM の使い方

11-10. IPM の制御電源回路電流

下表の DC と 20kHz の値は、時間平均値(Ave)です。 (条件: VD=15V, 単位 mA, Tj=25°C)

L1-シリーズ

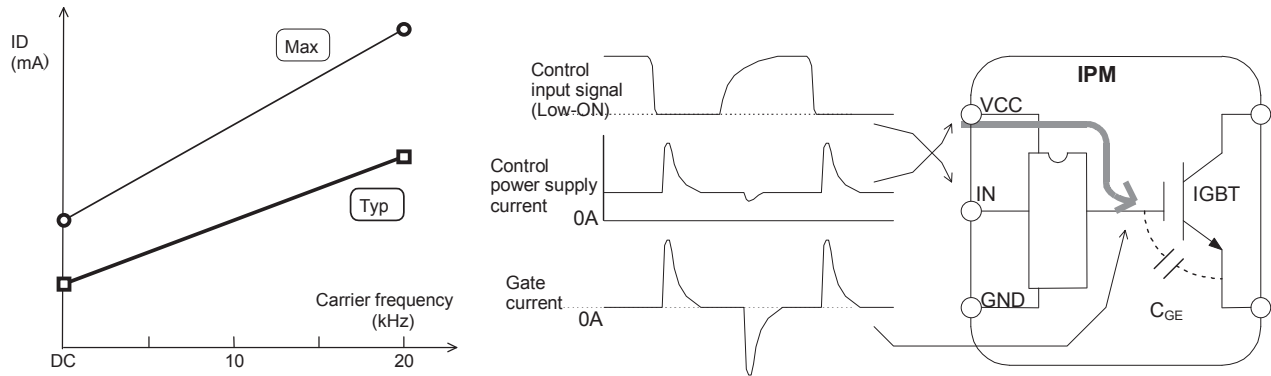
IPM L1-series	N-side				P-side (1 phase)			
	DC		20kHz		DC		20kHz	
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max
Type. Name								
PM50RL1C060	8	16	21	27	2	4	7	9
PM50RL1A/RL1B060	8	16	26	34	2	4	7	9
PM50CL1A/CL1B060	6	12	22	29	2	4	7	9
PM75RL1A/RL1B060	8	16	32	42	2	4	9	12
PM75CL1A/CL1B060	6	12	27	35	2	4	9	12
PM100RL1A060	8	16	37	48	2	4	11	14
PM100CL1A060	6	12	32	42	2	4	11	14
PM150RL1A060	8	16	51	66	2	4	14	18
PM150CL1A060	6	12	44	57	2	4	14	18
PM200RL1A060	8	16	75	98	2	4	20	26
PM200CL1A060	6	12	64	83	2	4	20	26
PM300RL1A060	8	16	99	129	2	4	25	33
PM300CL1A060	6	12	84	109	2	4	25	33
PM25RL1C120	8	16	25	33	2	4	9	12
PM25RL1A/RL1B120	8	16	32	42	2	4	9	12
PM25CL1A/CL1B120	6	12	27	35	2	4	9	12
PM50RL1A/RL1B120	8	16	50	65	2	4	14	18
PM50CL1A/CL1B120	6	12	43	56	2	4	14	18
PM75RL1A/RL1B120	8	16	70	91	2	4	19	25
PM75CL1A/CL1B120	6	12	59	77	2	4	19	25
PM100RL1A120	8	16	94	122	2	4	26	34
PM100CL1A120	6	12	80	104	2	4	26	34
PM150RL1A120	8	16	132	172	2	4	33	43
PM150CL1A120	6	12	115	150	2	4	33	43

S1-シリーズ

IPM S1-series	N-side				P-side (1 phase)			
	DC		20kHz		DC		20kHz	
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max
Type. Name								
PM50CS1D060	6	12	20	26	2	4	7	9
PM75CS1D060	6	12	25	33	2	4	9	12
PM100CS1D060	6	12	32	42	2	4	10	13
PM150CS1D060	6	12	41	53	2	4	14	18
PM200CS1D060	6	12	52	63	2	4	17	22
PM25CS1D120	6	12	22	29	2	4	8	10
PM50CS1D120	6	12	36	47	2	4	13	17
PM75CS1D120	6	12	49	64	2	4	17	22
PM100CS1D120	6	12	65	85	2	4	21	29

IPM の使い方

制御電源の消費電流は、ほぼキャリア周波数に従って増加しますので、この制御部消費電流・電力は、下記のようにキャリア周波数に対応した直線として近似できます。
図の DC と 20KHz での消費電流値は前頁の一覧表を用いてください。



IPM に使用している IGBT ゲート部は、入力容量 ($C_{ies} = C_{GE} + C_{CG}$) を持っていますので、ON(OFF)のスイッチング毎に、ゲートを充(放)電するための電流が流れます。
このピーク電流が 1~2A になる IPM もあります。

更に、オフ時には IGBT コレクタからの dV/dt 電流が制御電源側に流れ込みます。
この電流を吸収できるように制御電源を低インピーダンスに設計する必要があります。
そうでないと、この dV/dt 電流が制御 IC(制御入力端子、Fo 端子)をゆさぶり、誤オン信号となって、アーム短絡を起こさせることがあります。

制御電源の設計

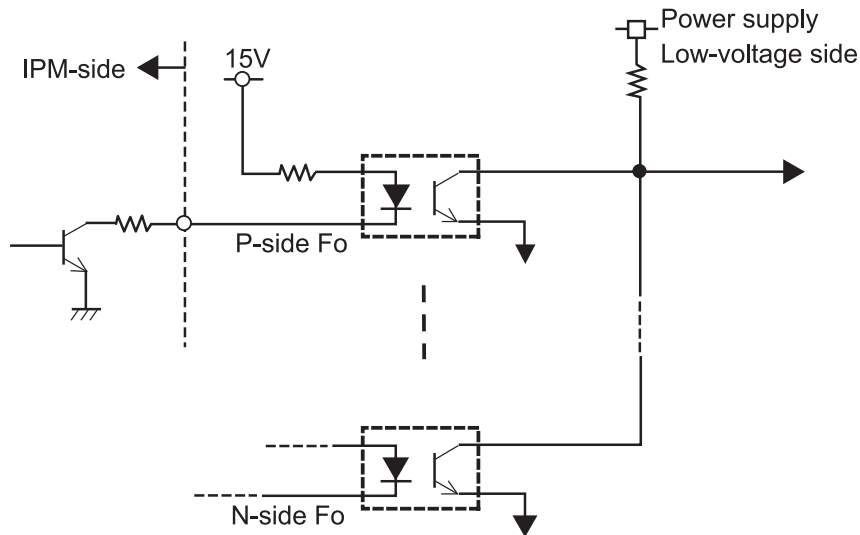
制御電源回路は、これらの電流変動を供給・吸収できるだけの容量が必要です。
通常この最大電流とインピーダンスについては、制御電源の特性ではなく、付随する平滑コンデンサおよびリップル除去コンデンサ(高周波パスコン)で対処できます。
その効果はコンデンサの種類だけでなく、基板パターン・配線のインダクタンスに影響されますので、実際の基板・装置で検証した上で、コンデンサの種類・容量を選定して下さい。

IPM の使い方

11-11. Fo 回路

Fo端子は、1.5kΩの抵抗を内蔵していますので、外付けの抵抗は不要です。通常は、フォトカプラに直結して使用してください。使用しない場合は、外来ノイズによる誤動作を防止するため制御電源にプルアップしてください。

エラー回路は、低速フォトカプラの2次側コレクタ共通で、一回路としてご使用されても問題ありません。簡単なエラー回路例を以下に示します。



P側のFo端子を使用しない場合の処理

P側（上アーム）のFoを使用しない場合は、それぞれの15V電源にプルアップさせてください。Fo端子は入出力兼用端子となっており、Low信号によりIPMが停止します。

P側（上アーム）のFoを使用しない場合は、例えば、P側のみを経由する地絡などに対しては、システム側から異常を検出できませんので保護協調がとれません。

IPMの保護動作は非繰返しの異常のみを想定していますので、異常状態を繰返してIPMに印加するとIPMが破壊される可能性があります。繰返し発生する異常に対してはシステム側で保護協調する必要があります。

パワー損失と接合部温度

12. パワー損失と接合部温度

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ことは是非とも必要です。以下に接合温度の求め方を図 12-1 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。

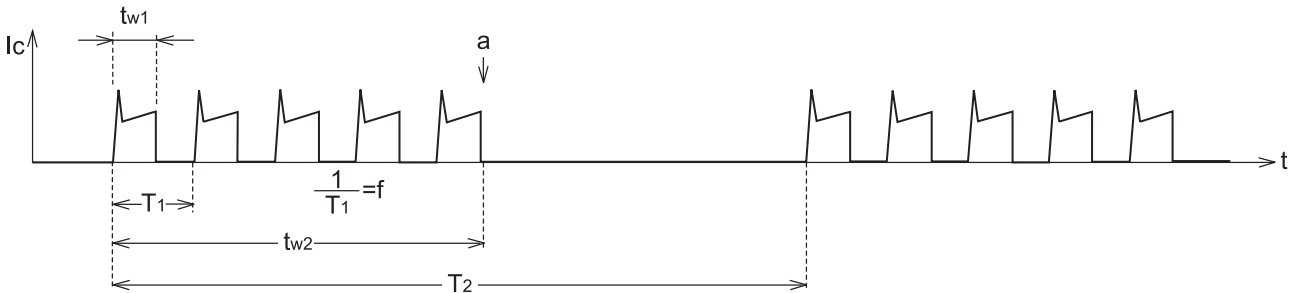


図 12-1

a. パワー損失

接合温度を求めるためには、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 12-2)

(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。

$$E_{(sat)} = \frac{I_{C1} \times V_{CE(sat)1} + I_{C2} \times V_{CE(sat)2}}{2} \times tw1 \quad (J)$$

注) 上式は簡略化した式ですが、本来は、

$$E_{(sat)} = \int_0^{tw1} I_C(t) \cdot V_{CE}(t) dt$$

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

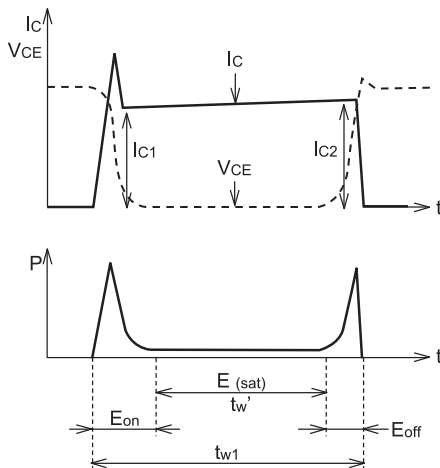


図 12-2

(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。

$$E_{on} = \int_{ta}^{tb} I_C(t) \cdot V_{CE}(t) dt = \frac{1}{n} \sum_{n-1}^n P_n \times (tb - ta)$$

n : 分割数

($ta \sim tb$ 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

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

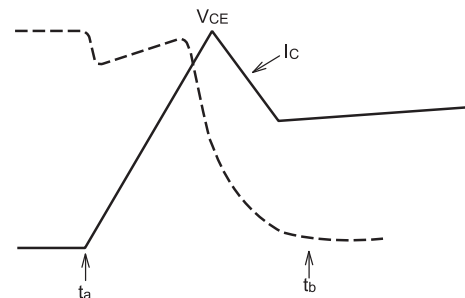


図 12-3

パワー損失と接合部温度

- (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

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

で表されます。図 12-2 の波形を電力に関して矩形波近似すると図 12-4 のようになります。



図 12-4

t_{w2} 期間内の平均パワー損失を求めます。(図 12-5 参照)

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

N : t_{w2} 期間内のパルスの数

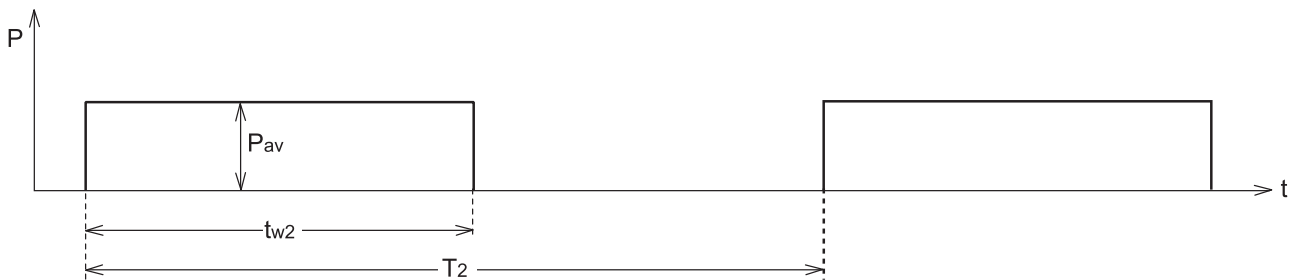


図 12-5

全体の平均パワー損失を求めます。(図 12-6 参照)

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

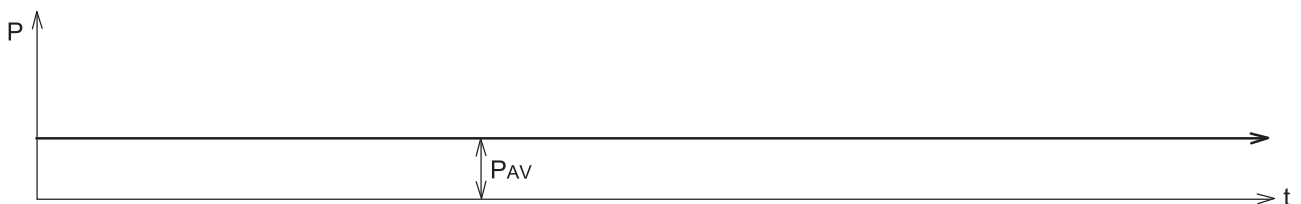


図 12-6

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

パワー損失と接合部温度

(1) $tw1 \ll 1ms$

図 12-3 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 12-7 参照）

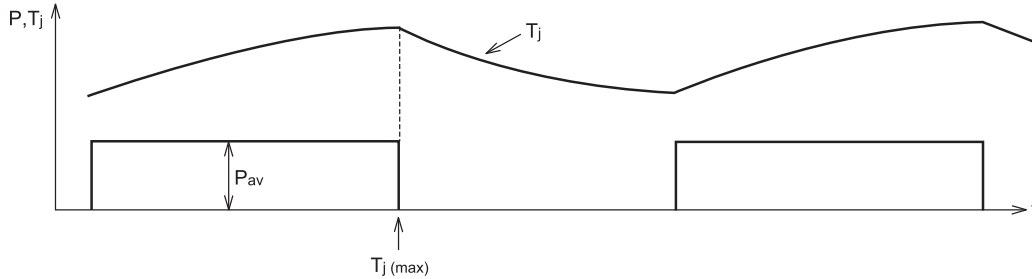


図 12-7

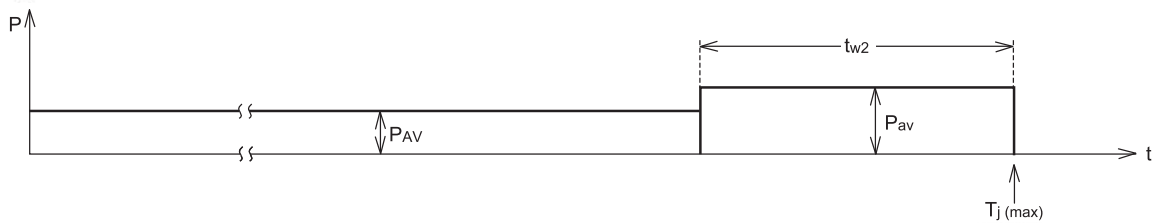


図 12-8

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 P_1 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 12-7 のような矩形波近似を行います。

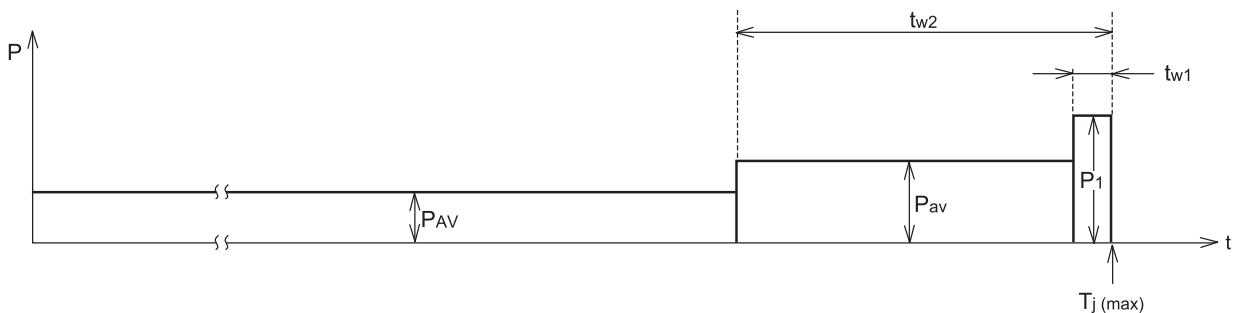


図 12-9

$$\Delta T(j-c) = R_{th}(j-c) \times P_{AV} - Z_{th}(j-c)(tw2) \times P_{AV} + Z_{th}(j-c)(tw2) \times P_{av} - Z_{th}(j-c)(tw1) \times P_{av} + Z_{th}(j-c)(tw1) \times P_1 = R_{th}(j-c) \times P_{AV} + (P_{av} - P_{AV}) \times Z_{th}(j-c)(tw2) + (P_1 - P_{av}) \times Z_{th}(j-c)(tw1)$$

$R_{th}(j-c)$ ……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)

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

パワー損失と接合部温度

(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 12-10)

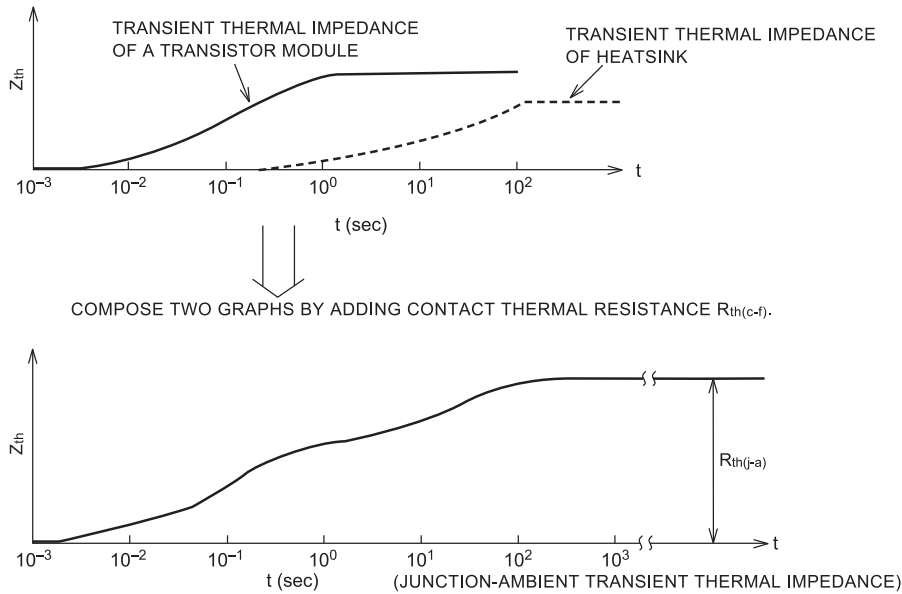


図 12-10

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。

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

c. ヒートシンクの選定方法

図 12-11 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

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

したがって求めるヒートシンクの熱抵抗は、

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

なお、 $T_c(max)$ 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。

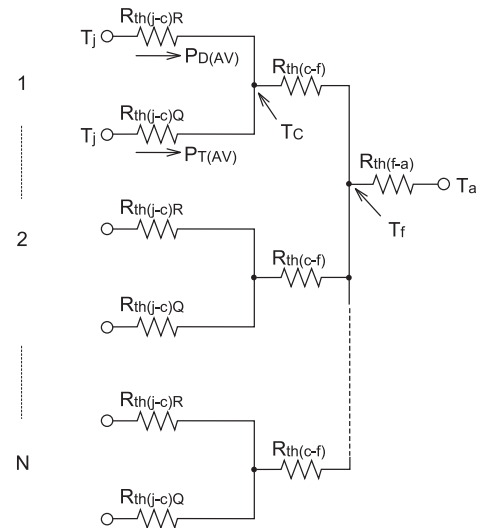


図 12-11

平均電力損失簡易計算式

13. 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
- ③ PWM 信号のデューティ振幅は $\frac{1-D}{2} \sim \frac{1+D}{2}$ (%/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力率は $\cos \theta$ 、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 デューティは、

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

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

したがって、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

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

また、フリーホイールダイオードの動損失は、図 13-1 のように理想化すると

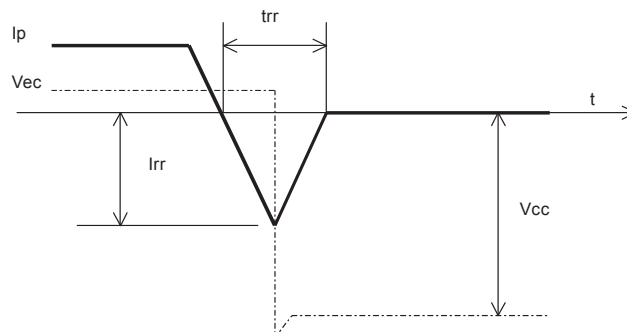


図 13-1 FWDi の動損失

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

平均電力損失簡易計算式

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、

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

となります。

■ 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」、 「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} 及び 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ップルを加味します。(特に $f_c \ll 10\text{kHz}$ では重要)

VVVF インバータ回路における三菱電機製 IGBT モジュール又は 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からダウンロードページにお進みください。

OSは、Windows®2000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、マニュアルダウンロード「パワーデバイス損失シミュレータ 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の米国及びその他の国における登録商標です。

14. 本資料ご利用に際しての留意事項

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又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しては、事前に三菱電機又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(<http://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、三菱電機又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又は特約店までご照会ください。