

# 1,200V パワートランジスタモジュール

\*1 伊藤 伸一(いとう しんいち)      \*1 重兼 寿夫(しげかね ひさお)      \*1 丸山 篤(まるやま あつし)      \*1 関谷 恒人(せきや つねと)  
 \*2 一條 正美(いちじょう まさみ)

## 1 まえがき

最近の省エネルギー、小形軽量、高効率化などの社会的要請を受けて、「パワーエレクトロニクス」は急激に進歩しつつある。これはデジタル化を含めた制御技術の進歩のみならず、パワートランジスタをはじめとする電力用半導体素子の出現と、その応用技術の発展に負うところが大きい。

このような動きの中で、富士電機は業界に先駆けて500V/100Aのビルディングブロックトランジスタ(BBT)<sup>(1)~(3)</sup>の開発・製品化に成功し、それまで困難とされていた静止電力変換装置のトランジスタ化に大きく寄与した。更に近年のパワー部集積化の要求にこたえ、500~1,000V耐圧のパワートランジスタモジュールを開発・系列化<sup>(4)~(6)</sup>し、市場で高い実績と評価を得ている。

一方、米国をはじめとする諸外国でも、静止電力変換装置のトランジスタ化の要求が最近増大してきている。しかしながら入力電圧AC400Vである国内の市場に比べ、入力電圧AC460~480Vである米国などの市場に対して、従来の1,000V級素子では耐圧的に十分とは言えず、適用に際して多くの注意が必要であった。また、国内においても過電圧保護設定レベルを高くすることにより、容易に動作停止しないインバータをねらった、より高耐圧のトランジスタの要求が多くなってきた。

そこで、今回、入力電圧AC480Vに直結しうる1,200Vパワートランジスタモジュールの開発・系列化に成功したので概略を報告する。

## 2 構造と特性

### 2.1 外観と構造

図1に1,200Vパワートランジスタモジュール系列の外観を、また図2に内部構造を示す。パワートランジスタチップと高速ダイオードチップはモリブデン板にはんだ付けされており、そのモリブデン板は内部銅板に硬ろう付けされ、絶縁用セラミックを介して下部銅基板にはんだ付けされている。

1,200V系列は、500V系列に比べて適用されるコレクタ電圧が約2倍となるため、スイッチング損失も約2倍となる。したがって、この損失に対して十分な許容コレクタ損失を確保するため、上述の内部銅板の大きさと厚みは特に配慮された。また、応用装置が最近のFA化の波により年中無休で運転されることが多くなってきており、長期のパ

図1 1,200Vパワートランジスタモジュール系列の外観

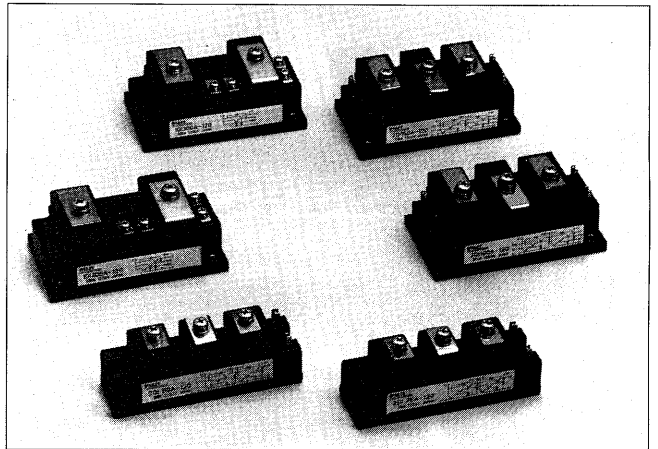
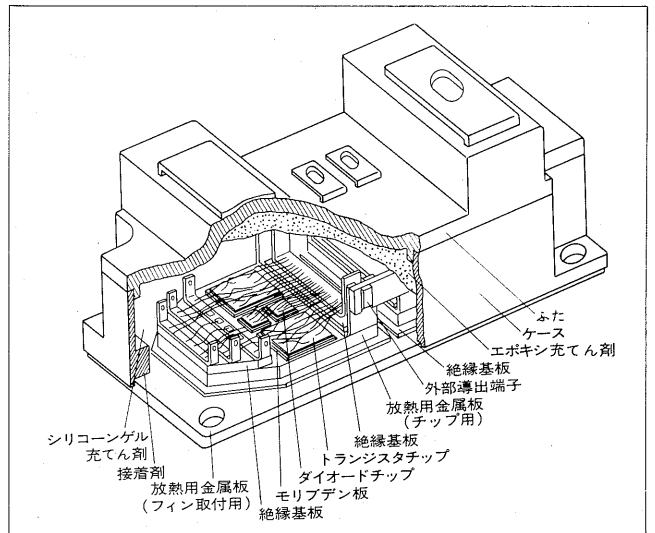


図2 1,200Vパワートランジスタモジュールの内部構造



ワーサイクル耐量がますます要求されてきている。これに対し、シリコンチップの下にこれに近い熱膨張率を有するモリブデン板を敷き、それを内部銅板に硬ろう付けすることで十分なパワーサイクル信頼性を確立した。

### 2.2 系列と特性

表1に50~300Aの全系列の主な定格特性を示す。また、図3に各機種の名義の意味を示す。1,200V系列の代表として300A級の $h_{FE}-I_c$ 特性と飽和電圧特性を、それぞれ図4と図5に示す。

### 2.3 等価回路

図6に1,200V系列の等価回路(内部結線図)を示す。

\*1 松本工場 第二製造部      \*2 (株)富士電機総合研究所 強電電子開発部

表1 1,200Vパワートランジスタモジュールの定格特性

形式	V <sub>CEO</sub>	V <sub>CEX(SUS)</sub>		I <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>	h <sub>FE</sub>	条 件	
		at	at				I <sub>c</sub>	V <sub>CE</sub>
		I <sub>c</sub> Rating	2 × I <sub>c</sub> Rating					
2DI50A-120	1,200V	1,200V	1,000V	50A	400W	70	50A	5V
2DI75A-120	1,200V	1,200V	1,000V	75A	500W	70	75A	5V
2DI100A-120	1,200V	1,200V	1,000V	100A	800W	70	100A	5V
2DI150A-120	1,200V	1,200V	1,000V	150A	1,000W	70	150A	5V
1DI200A-120	1,200V	1,200V	1,000V	200A	1,600W	70	200A	5V
1DI300A-120	1,200V	1,200V	1,000V	300A	2,000W	70	300A	5V

図3 名称の意味 (例: 1,200V/150A2個組)

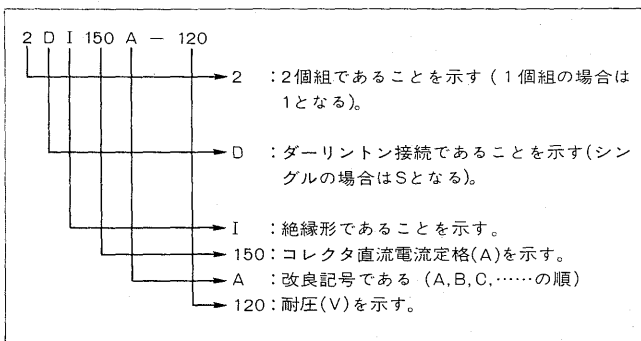


図4 1DI300A-120 h<sub>FE</sub>-I<sub>c</sub>特性

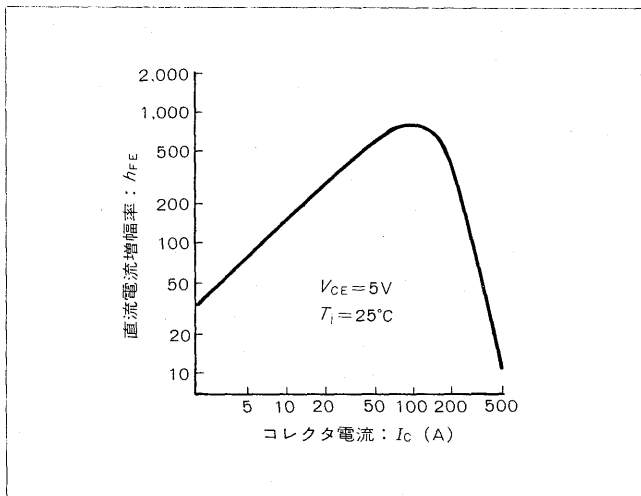
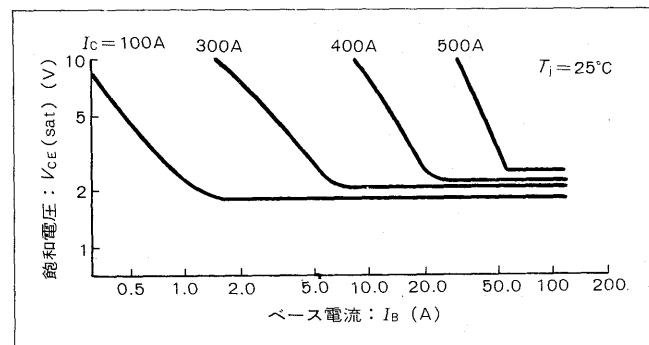
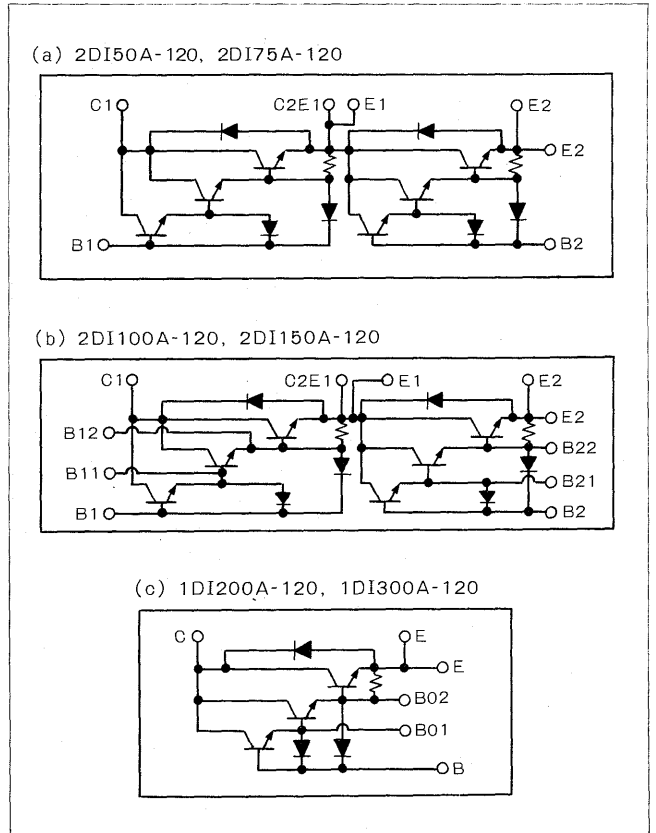


図5 1DI300A-120 飽和電圧特性



トランジスタチップは3段ダーリントン構成であり、コレクタ-エミッタ間に逆並列にフリーホイール用高速ダイオ

図6 等価回路 (内部結線図)



ードを内蔵している。

### ③ 高周波インバータ用設計

従来6ステップ制御が主体であったモータ駆動用インバータも、最近ではPWM制御が主流になってきた。この動きにつれてトランジスタの動作周波数も従来の数十~数百Hzから数kHzへと高周波に移行しつつある。

このような高周波インバータにおいて、トランジスタに要求される特性は、従来の高増幅率や低飽和電圧などに加えて下記の3点がある。

- (1) 高速スイッチング特性
- (2) 広い逆バイアス安全動作領域 (RBSOA)
- (3) 高短絡耐量

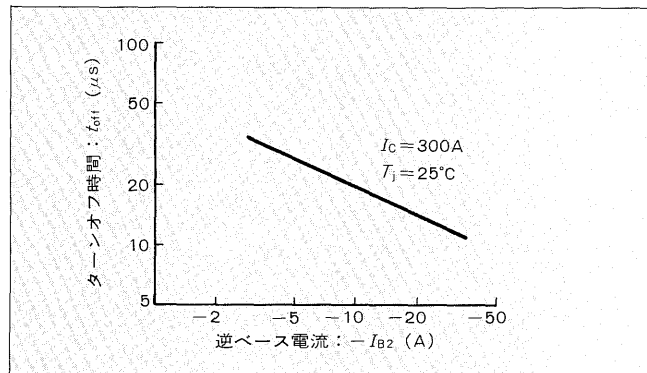
3.1 スイッチング特性

ブリッジ形インバータにおいて、一つの出力配線に接続されている上下のトランジスタが同時にオンし、過電流が流れることを防止するため、デッドタイム（休止期間）が設定されている。例えば、上側のトランジスタがターンオフした後、下側のトランジスタがターンオンするまでの上下が同時にオフしている期間、これがデッドタイムである。

短絡を防ぐために、デッドタイムはトランジスタのターンオフ時間より長く設定しなければならないが、長過ぎるとインバータの効率著しく低下する。そのため、一般的には数十  $\mu\text{s}$  に設定してある。

1,200V 系列は、このことを十分に考慮して、ターンオフ時間を 15  $\mu\text{s}$  と短く設計してある。図7は 300A 素子のターンオフ特性である。ある程度の逆ベース電流を設定することにより 15  $\mu\text{s}$  以下のターンオフ時間が得られ、またこの逆ベース電流値では破壊しないよう RBSOA にも留意している。

図7 1DI300A-120 ターンオフ特性



3.2 逆バイアス安全動作領域 (RBSOA)

トランジスタをスイッチング回路に適用する際、回路の配線インダクタンスが原因となるターンオフ時のスパイク電圧で素子を破壊させることがある。このスパイク電圧から素子を保護するため、従来は図8に示されるような  $dv/dt$  制限形スナバが接続されていることが一般的であった。

しかし、このようなスナバは特に高周波インバータで発生損失が増大し、また  $dv/dt$  を制限するのでは GTO などの他の素子に対してトランジスタ化したメリットを發揮できないという問題点があった。そのため、最近では図9のような  $dv/dt$  非制限形スナバが主流になってきている。

このスナバは電源電圧より高い電圧成分だけをカットするという機能しか無いため、トランジスタは電源電圧にプラスしたスナバ配線のスパイク電圧に耐えるだけの RBSOA を持っていなければならない。ここでいう電源電圧とは、モータ負荷の場合、モータが発電機として動作し（回生動作）、過電圧保護回路が動き出す直前の直流電源電圧を意味する。

交流入力を  $V_{in}$  とし変動率を 10% とすると、整流後の直

図8  $dv/dt$  制限形スナバ回路例

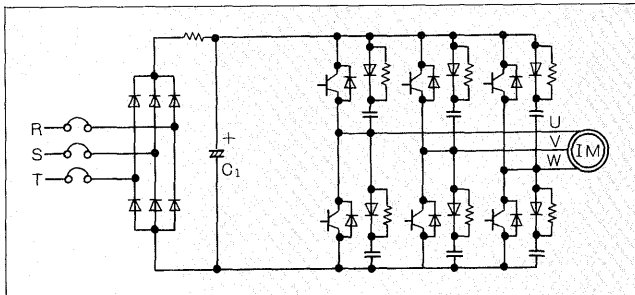
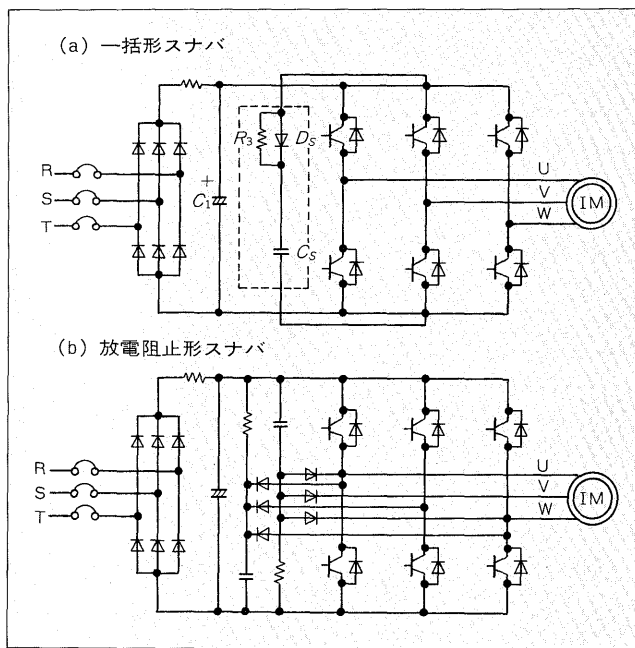


図9  $dv/dt$  非制限形スナバ回路例



流電圧は  $V_{DC}$  は式(1)のように示される。

$$V_{DC} = V_{in} \times \sqrt{2} \times 1.1 \dots\dots\dots(1)$$

次に、インバータが回生動作を始め、 $V_{DC}$  の 10% 上の点で過電圧を検出し、過電圧保護回路の遅れのため更にその 5% 上の点で保護回路が動作開始した場合、最大直流電源電圧  $V_{DC \max}$  は式(2)のように示される。

$$V_{DC \max} = V_{DC} \times 1.1 \times 1.05 \dots\dots\dots(2)$$

スナバ配線の浮遊インダクタンスが原因となるスパイク電圧を 100V とすると、スパイク電圧せん頭値は式(3)のように表される。

$$V_{surge} = V_{DC \max} + 100V \dots\dots\dots(3)$$

以上、式(1)、(2)、(3)をまとめると、

$$V_{surge} = V_{in} \times \sqrt{2} \times 1.1 \times 1.1 \times 1.05 + 100 \dots\dots\dots(4)$$

となる。

インバータの過負荷運転や短絡などのことを考慮するとトランジスタは少なくともコレクタ直流電流定格の 2 倍の電流値で、式(4)で得られる  $V_{surge}$  の値以上の RBSOA を有していなければならない。

図10に 300A 級の RBSOA を代表として示す。コレクタ直流電流定格のポイントで 1,200V、その 2 倍の電流ポイントで 1,000V と広い RBSOA を有している。

図 10 1DI300A-120 逆バイアス安全動作領域

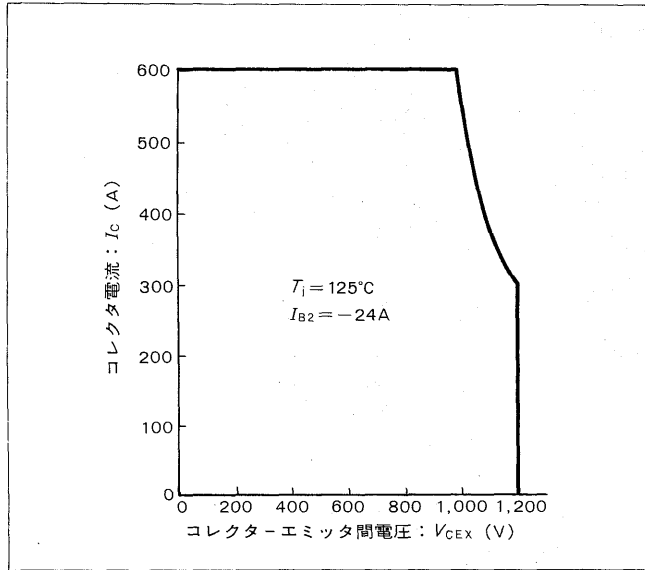


表 2 各国の商用交流電源と RBSOA を考慮した適用可否の考察結果

トランジスタ耐圧クラス	500V 級	550V 級	1,000V 級	1,200V 級
交流入力電源電圧	450	500	800V	1,000V
RBSOA (Ic-Rating×2)	~500V	~550V		
スパイク電圧				
200V	○	○	○	○
220V	○	○	○	○
230V	△	○	○	○
380V			○	○
400V			○	○
415V			△	○
460V			△	○
480V				○

○：適用可能，△：適用可能（ただし適用に際し注意が必要）

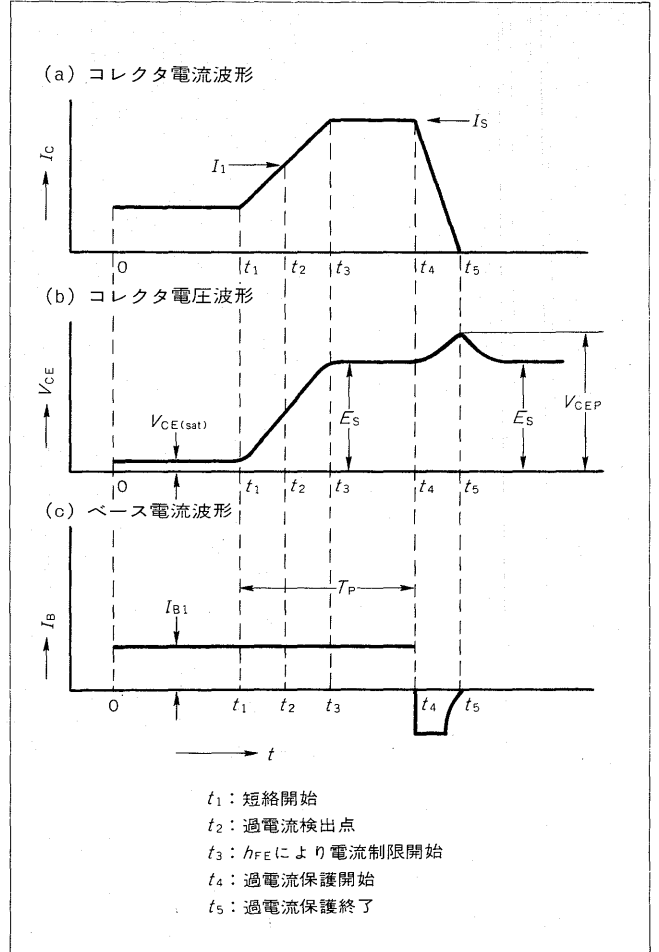
表 2 は世界の代表的な商用交流電源に式(4)を適用して得た計算結果と、従来の 500V, 550V, 1,000V トランジスタモジュール、並びに今回の 1,200V 系列の RBSOA を比較し、適用の可否を考察した結果を示している。AC 480V 入力に対し 1,200V 系列が直結できることが良くわかる。

最近のインバータ 24 時間運転の場合、例えば夜中に過電圧保護回路が動作してインバータが動作停止するようなことを少なくしたいという要求が多くなってきた。このようなときも、広い RBSOA を持つ 1,200V 系列は有効である。表 2 のように、国内の AC 400V に対しては 1,200V 系列の適用により RBSOA の余裕度がかなりあり、過電圧保護電圧レベルを高く設定できるため容易に動作停止しないインバータを構成できる。

3.3 短絡耐量

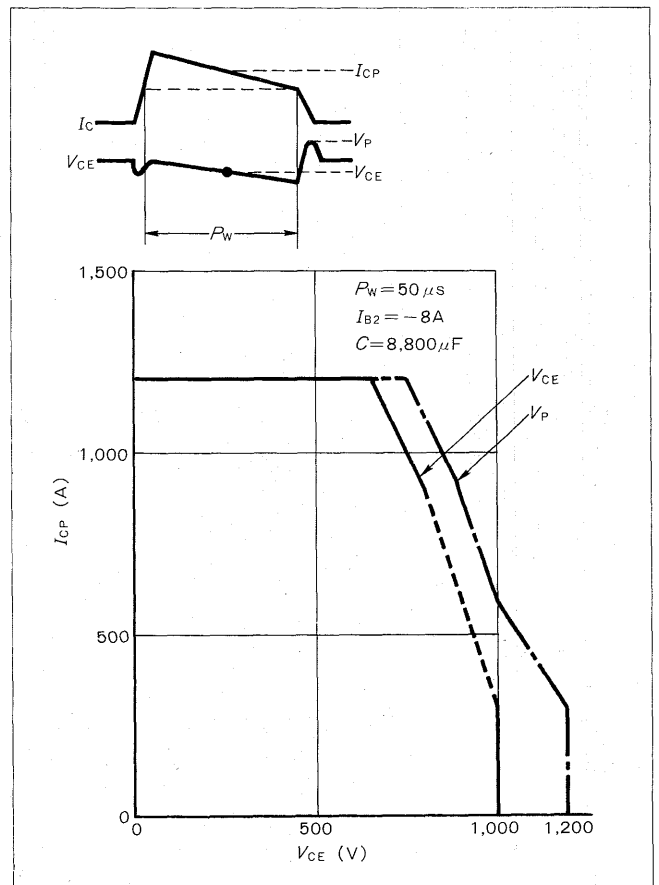
負荷短絡などの過電流現象において、素子に最も過酷な条件は上下アームのトランジスタが同時にオンするアーム短絡である。従来のインバータでは過電流抑制のために回路と直列にリアクトルが接続されていたが、最近の高周波インバータではこれが省略されるケースが多くなってきて

図 11 アーム短絡時の過電流発生プロセス



t<sub>1</sub>: 短絡開始  
 t<sub>2</sub>: 過電流検出点  
 t<sub>3</sub>: h<sub>FE</sub>により電流制限開始  
 t<sub>4</sub>: 過電流保護開始  
 t<sub>5</sub>: 過電流保護終了

図 12 1DI300A-120 アーム短絡耐量



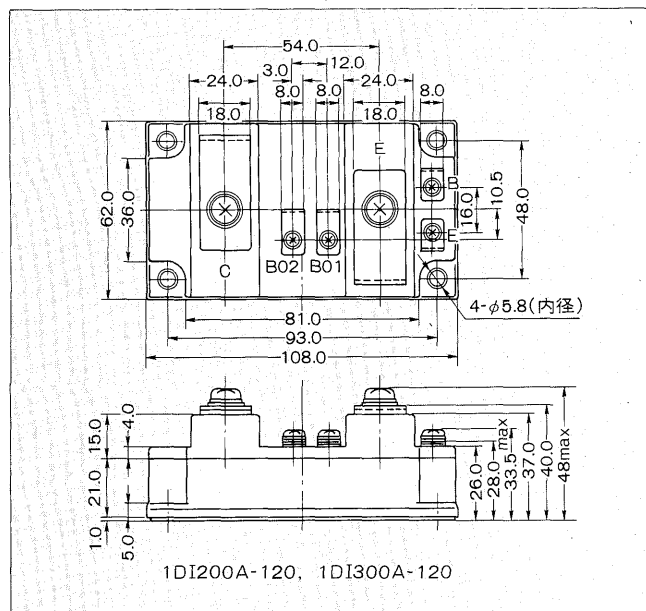
いる。図 11 にアーム短絡時の過電流発生プロセスを示す。過電流を検出した後、実際に保護回路が動作するためには 10~20 $\mu$ s の遅れ時間があり、その間素子には非常に大きなサージパワーが印加される。

これに対し、1,200V 系列は図 12 に示すように 50 $\mu$ s のパルス幅においても広いアーム短絡耐量を持っている。

4 パッケージ設計

図 13 に 1,200V 系列の外形寸法を示す。パッケージ設計に当たって、特に留意した点は下記の 5 点である。

図 13 1,200V パワートランジスタモジュールの外形寸法



- (1) 従来の 1,000V と同一のフィン取付面積であること。
- (2) 端子間に十分な絶縁距離があること。
- (3) プリント回路基板を素子上面に取り付けられること。
- (4) 電力配線と制御配線が交差しないこと。
- (5) ダーリントン各段のエミッタが補助ターミナルを持っていること。

4.1 取付面積

表 3 は、従来の 1,000V トランジスタと今回の 1,200V 系列との取付面積を比較したものである。1,200V 系列で破壊耐量、耐圧とも 20% アップさせたにもかかわらず、冷却フィンへの取付面積は従来の 1,000V トランジスタとほぼ同一となっている。

4.2 絶縁距離

表 4 に米国での代表的な規格の一つである NEMA 規格を示す。1,200V 系列は端子間距離を 14mm としているため十分な絶縁距離を有している。

4.3 プリント基板搭載

最近、インバータ小形化のため、スナバ回路などを搭載

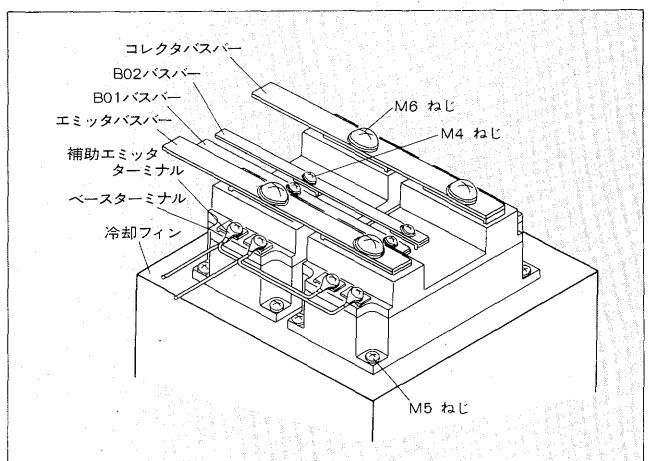
表 3 400V 系入力用のトランジスタにおける冷却フィン取付面積比較 (単位: mm)

Ic 定格	形 名	底面外形寸法		取付ねじ間隔	
		横方向	縦方向	横方向	縦方向
50 A	A 社 1,000 V	94	34	80	—
	B 社 1,000 V	92	35	80	
	2DI50 A-120	108	34	93	
75 A	A 社 1,000 V	108	34	93	—
	B 社 1,000 V	105	35	93	
	2DI75 A-120	108	34	93	
100 A	A 社 1,000 V	108	62	93	48
	B 社 1,000 V	108	62	93	48
	2DI100 A-120	108	62	93	48
150 A	A 社 1,000 V	108	62	93	48
	B 社 1,000 V	108	62	93	48
	2DI150 A-120	108	62	93	48
200 A	A 社 1,000 V	108	62	93	48
	B 社 1,000 V	108	62	93	48
	1DI200 A	108	62	93	48
300 A	A 社 1,000 V	108	62	93	48
	B 社 1,000 V	108	62	93	48
	1DI300 A-120	108	62	93	48

表 4 NEMA 規格の一部

分類	条件	NEMA 1C2-134	
		油 中	気 中
沿 面 距 離		12.7 mm	12.7 mm
空 間 距 離		9.5 mm	9.5 mm

図 14 1DI300A-120 並列運転配線例



したプリント回路基板をモジュール上へ、モジュールの端子ねじを用いて止めてしまいたいという要求も出てきた。

1,200V 系列はこの要求にこたえるため、搭載への障害となる端子間のバリヤを廃し、溝により端子間沿面距離を確保している。

4.4 配線

数百A以上の大電流を制御するとき、電力配線の電磁誘導が制御配線へ影響を与えることを無視できない。図13からわかるように、100A以上の1,200V系列はすべて専用のエミッタ制御用端子を有しているため、図14の300A素子の並列運転配線例のように、電力用配線と制御用配線が交差することなくインバータ回路を構成できる。

4.5 補助端子

応用上、並列運転が予想される100A以上の1,200V系列は3段ダーリントントランジスタの各段に補助端子としてエミッタ端子を有している。並列運転する場合、それぞれの素子のコレクタ、ベース、エミッタの3端子同士を接続したうえ、各段の補助端子同士も接続することによって、コレクタ電流バランスの改善をめざしている。

すなわち、3段ダーリントン構造での並列接続であっても、補助端子を用いることにより実質的にシングル段トランジスタの並列接続と同じ効果が得られるからである。

⑤ あとがき

富士パワートランジスタモジュールの中で、最近開発した1,200Vパワートランジスタモジュール系列の設計法、特性などの概要を紹介した。パワートランジスタモジュールの応用分野は今後ますます広がる傾向にあり、更に高性能な素子が要求されている。今後とも、高品質な使いやすいパワートランジスタを開発してゆく所存であり、ここで改めて今後の御指導・御支援をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 関谷恒人ほか：ビルディングブロックトランジスタ(BBT), 富士時報, 53, 2, pp.122~127 (1980)
- (2) 関谷恒人ほか：BBTの特性と応用, 電子技術, 22, 3 (1980)
- (3) 関谷恒人ほか：パワートランジスタ, 富士時報, 53, 10, pp.744~750 (1980)
- (4) 沢邦彦・関谷恒人：パワートランジスタ, 電気学会全国大会シンポジウム (1982)
- (5) 関谷恒人ほか：電力変換装置用パワートランジスタモジュール, 富士時報, 55, 10, pp.632~638 (1982)
- (6) 沢邦彦・関谷恒人：電力用トランジスタ, 電気学会雑誌, 103, 1, pp.15~18 (1983)

技術論文社外公表一覽

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
MRPS の設計・導入を成功させるための留意点	東 京 工 場	湯 沢 亘	総合化 MRP の設計と導入 (単行本) (1984) 日刊工業新聞社
小型誘導電動機製造ラインの FA 化	システム営業本部	栗 原 隆	無人化技術 25, 4 (1984) 新技術社
総合 MRP システムの設計・導入	東 京 工 場	湯 沢 亘	工場管理 30, 4 (1984) 日刊工業新聞社
太陽電池の開発の現状について	富士電機総合研究所	西 浦 真治	電気工事の友 37, 4 (1984) 関東電気協会
沿岸固定式波力発電装置	輸送特機事業部	平 本 嵩	電機 No.429 (1984) 日本電機工業会
a-Si 太陽電池アレイの信頼性試験	富士電機総合研究所 " " 技術企画本部	西 浦 真治 酒 井 博 内 田 喜之 小 野 寺 慶一 吉 見 哲夫	第31回応用物理学会関係連合講演会講演予稿集 春季号 (1984)
太陽エネルギーシステムの研究 3.1 膜質の光特性変化 3.2 セル特性変化(光劣化) 5.4 製造技術的観点 7.4 5th EC PV 会議	富士電機総合研究所	内 田 喜之	昭和58年度サンシャイン計画委託調査研究成果報告書 (1984)
The Temperature Dependence of the Optical Dispersion Parameters in Fused Silica and Crystal Quartz	富士電機総合研究所	豊 田 太郎	J. Phys C : Solid State Phys. (1984-6)
Integrated Computer Control System Attains Energy Saving for a Large Stainless Steel Plant	産業プラント営業本部 "	久 保 田 勉 岡 崎 金造	International Congress on Electro Heat (1984-6)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。