

パワートランジスタの並列接続技術

巣山 廣登(すやま ひろと)

宝泉 徹(ほうせん とおる)

① まえがき

パワートランジスタで代表される電力用半導体素子の出現と、その適用技術の進歩により、静止電力変換装置のトランジスタ化が大きく進展してきた。

近年、大容量の装置までパワートランジスタが適用されるようになり、多数個のパワートランジスタが並列に接続して使用されるようになってきた。

並列接続の場合、並列に接続した各素子の電流分担が均一になるように、種々の配慮をしなければならない。

以下にパワートランジスタの並列接続技術について説明する。

② 電流分担の阻害要因

並列接続時の電流分担を阻害する要因は、素子特性のばらつき、配線インダクタンスのばらつきなどであり、以下にその概要を説明する。

2.1 オン状態での電流不平衡の原因

2.1.1 静特性のばらつき

(1) h_{FE} のばらつき

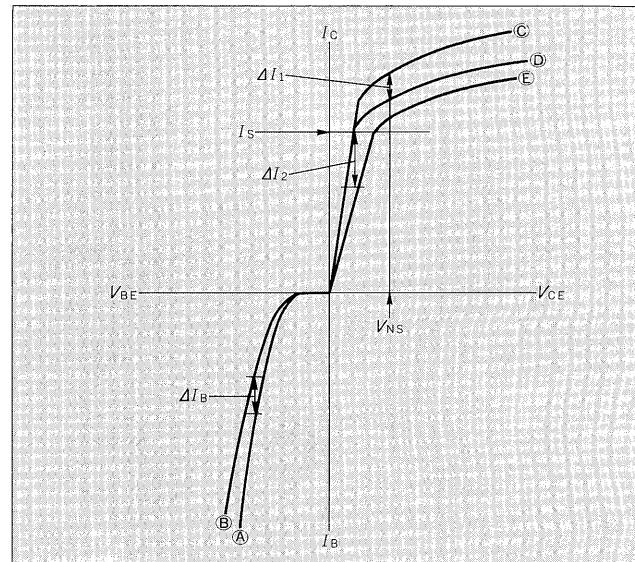
説明を簡単にするために、 h_{FE} だけがばらついた場合を想定すれば、図1の V_{CE} - I_C 特性の④、⑤の組合せになる。図中、 V_{NS} で示されるような活性領域で動作させる場合は、 ΔI_1 の電流不balanceが生じる。

ただし、順バイアス電流を十分供給し、飽和させて用いることによって、コレクタ電流を I_S 以下で適用する限り、

表1 電流分担の阻害要因

阻害モード	阻害要因
オン状態での電流不balance	<ul style="list-style-type: none"> 静特性 (h_{FE}, $V_{BE(sat)}$, $V_{CE(sat)}$) のばらつき 主回路配線抵抗のばらつき
ターンオン、ターンオフ過程での電流不balance	<ul style="list-style-type: none"> スイッチング特性 (t_{on}, t_{sig}, t_f) のばらつき 主回路配線インダクタンスのばらつき

図1 静特性の組合せ例



コレクタ電流の不balanceを生じないことになる。

(2) $V_{BE(sat)}$ のばらつき

$V_{BE(sat)}$ だけがばらついた場合を想定すると、図1の④、⑤の組合せになり、ベース電流は、 ΔI_B の不balanceを生ずる。 I_B の不balanceは、他の特性が同一とすれば、 h_{FE} が異なったのと同様に考えられることから、コレクタ電流の不balanceは、先に述べた h_{FE} のばらつきと同様な結果となる。

(3) $V_{CE(sat)}$ のばらつき

V_{CE} 特性だけがばらつく場合を想定すると、 V_{CE} 特性は④、⑤の組合せになり、 I_S 以下のコレクタ電流で使用しても、コレクタ電流の不balance (ΔI_2) を生じることになる。

2.1.2 配線抵抗のばらつき

図2において、主回路配線抵抗は、コレクタ側とエミッタ側に存在し、各々の抵抗値がばらついていると、コレクタ電流の電流分担に悪影響を与える。そこで、良好な電流分担を得るには、エミッタ配線及びコレクタ配線抵抗が同一となるように配線する必要がある。

また、ベースドライブ用配線の抵抗がばらついていると、ベース電流分担に不balanceを生じるため、コレクタ電流の電



巣山 廣登

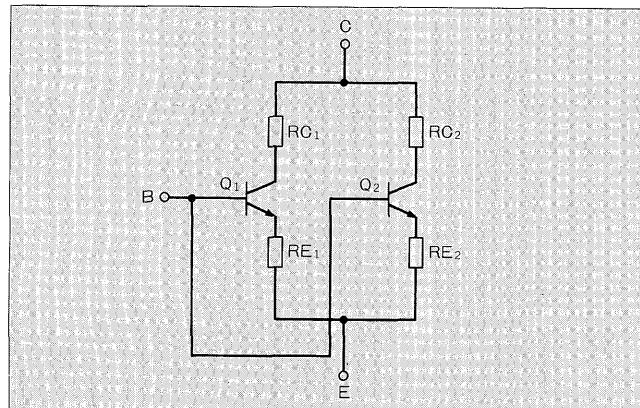
昭和44年入社。パワートランジスタの開発設計に従事。現在、松本工場パワーデバイス部室主任。



宝泉 徹

昭和58年入社。パワートランジスタの開発に従事。現在、松本工場パワーデバイス部。

図2 配線の抵抗分



流分担に大きな影響を与える。

2.2 ターンオン、ターンオフ過程での電流不均衡の原因

2.2.1 スイッチング特性のばらつき

パワートランジスタのスイッチング特性のばらつきにより、並列接続したパワートランジスタをスイッチングさせた過渡時に、電流不均衡を生じる。パワートランジスタのスイッチング時間の中では、蓄積時間(t_{stg})が最も長くばらつき幅も大きいが、並列時には以下に述べるベース電流の融通作用によって、ばらつきが改善される効果がある。

図3にターンオフ時のベース電圧・電流波形例を示す。図3に示すように、ターンオフ動作の進行とともに、ベース-エミッタ間インピーダンスが高くなり、ベース電圧(V_{BE})は負の方向へと変化していく。

図4に融通作用の様子を示すが、蓄積時間(t_{stg})の短い素子の逆バイアスベース電流は速く減少し、その分蓄積時間(t_{stg})の長い素子の逆バイアスベース電流を増加させる。ただし、逆バイアスベース電流が、蓄積時間の最も長い素子に集中するために、RBSOAが狭くなることに注意しなければならない。

2.2.2 配線インダクタンスのばらつき

図5に示すような配線インダクタンスは、過渡時の電流不均衡を起こす。

特に、エミッタ側配線のインダクタンスは、ベース電流の経路に挿入されており、ベース電流の分担にまで影響を及ぼす。

また、ベース側インダクタンスは、ベース電流の融通作用を阻害する。

したがって、良好な電流分担を得るには、可能な限り配線長を短くするとともに、特にエミッタ側のインダクタンスをそろえる必要がある。

③ 並列接続方法

3.1 配線方式

並列接続時の理想的な配線方法は、均等かつ最短でと言うことになる。しかしながら、製品レベルで考えた時、いろいろな制約条件の下で完ぺきに満足することは困難であ

図3 ターンオフ時の動作波形例

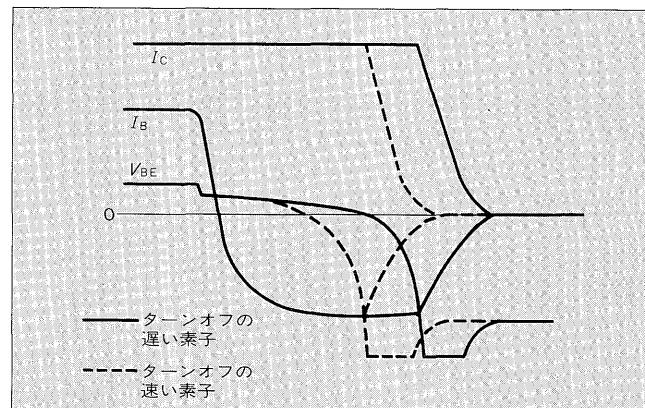


図4 ベース電流融通作用の例

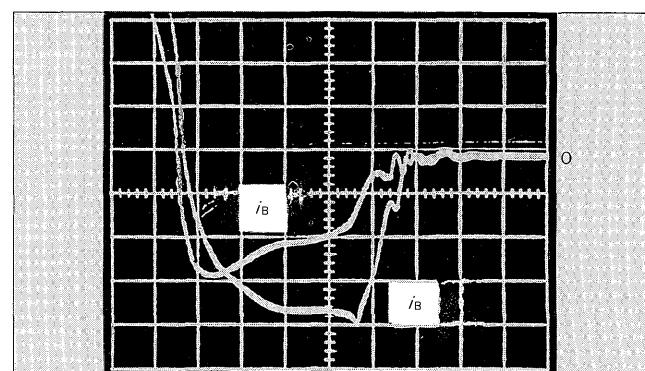
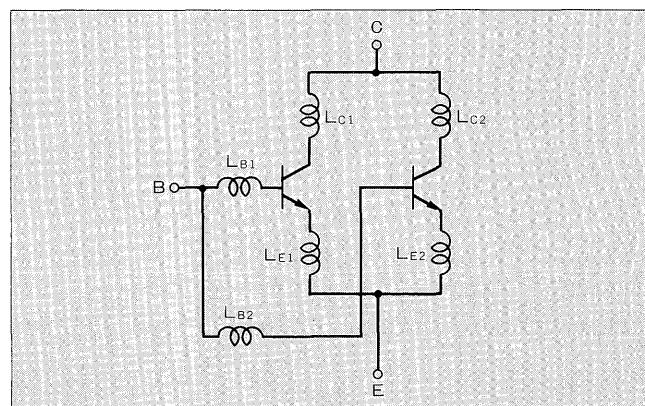


図5 配線のインダクタンス分



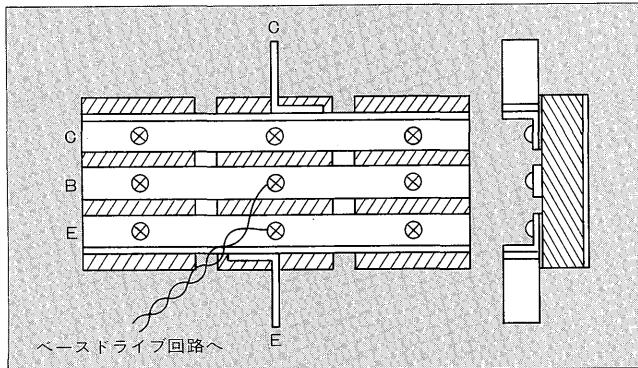
る。

そこで、可能な限り理想に近づける工夫が必要であり、特に並列接続は、主回路配線構造のいかんが決め手となる。

図6に、パワートランジスタモジュールを用いた並列接続回路の配線構造例を示す。基本的な注意事項は下記のとおりである。

- (1) 素子間の配線が短くなるように、パワートランジスタは可能な限り密着させて配置する。
- (2) 各素子間の配線は、配線抵抗、インダクタンス分の低減と均一化を考慮した構造、配線材を使用する（図6はLアングルを使用）。
- (3) コレクタ及びエミッタの取出し線は、中央部から取り出し、ベース配線と並行した配線は避ける（並行配線を

図6 パワートランジスタの並列接続方法



行うと、電磁結合による電流不平衡が発生する)。

- (4) ドライブ回路への配線は、中央部から取り出し、密に
より合わせる。

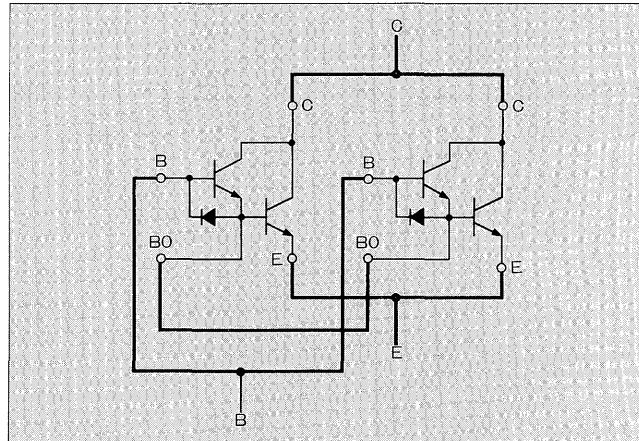
3.2 素子特性管理方法

電流分担に影響を与える素子特性には、 h_{FE} 、 $V_{BE(sat)}$ 、 $V_{CE(sat)}$ 、 t_{on} 、 t_{sg} 、 t_f がある。これらのすべての特性のばらつきを管理することは、現実的には不可能に近く、実際には、これらの特性のばらつきの方向及びばらつき幅に一定の相関があることを利用して、1項目だけを管理することが多い。並列接続素子の特性管理項目としては、一般的に h_{FE} が用いられるが、そのばらつきの管理幅は、ドライブ条件や配線条件によって大幅に異なるので、 h_{FE} の異なる素子を用いての実験検証を実施して決定する必要がある。

4 並列接続用トランジスタ

大容量のパワートランジスタは、ダーリントンタイプが

図7 補助ベース付ダーリントントランジスタの並列接続



主流になっているが、ダーリントントランジスタは、シングルトランジスタに比較して、素子特性のばらつき幅が大きい。そこで図7に示すような、補助ベース端子付のダーリントントランジスタが製品化されている。補助ベース間を接続することによって、前段、後段共にシングルトランジスタとして並列接続ができるものである。

5 あとがき

以上、パワートランジスタの並列接続技術の概要を述べた。今後、パワートランジスタ応用装置が大容量化するに伴い、パワートランジスタの並列接続技術が重要な役割を示すと思われる。

本稿がその一助となれば幸いである。

技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
フーリエ変換赤外分光光度計とその応用	東京工場	渡辺 敦夫	電気学会雑誌 107, 7 (1987)
富士パーソナル監視制御システム	計装制御統括部	伊藤 泰夫	計装 30, 9 (1987)
回転機の電機子反作用と対策	川崎工場	高田 清幸	
マシン異常運転の研究 欠相運転する同期機	川崎工場	村岡 政義	電気計算 55, 12 (1987) 電気書院
事故波及防止からのアプローチ	電機システム統括部	中村 信男 牛村 祥夫	電気と管理 28, 9 (1987) 電気書院
UFAS 15L の概要と特徴	情報処理推進室	水津 佳紀	オートメーション 32, 9 (1987) 日刊工業新聞社
多種少量生産に対応したプリント板実装ラインのFA	三重工場	渡辺 俊博	ファクトリ・オートメーション 5, 9 (1987) 日本工業出版
光ファイバ式フィールド計装システム	計装制御統括部	渡辺 好三	配管技術 29, 11 (1987) 日本工業出版
密閉型転炉排ガス回収設備における炉圧制御	富士ファコム制御	川合 成治	
誘導加熱コーティングラインにおける温度制御	富士ファコム制御	伊藤 正満	
可変ゲイン方式を用いた配水の圧力・流量制御	富士ファコム制御	黒谷 憲一	計装 30, 10 (1987) 工業技術社
配水ポンプの効率運転台数制御	富士ファコム制御	黒谷 憲一	



*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。