

高速ソフトリカバリダイオード

穴戸 長次*
田山 慶昭*

1. はじめに

インバータ回路に用いられるIGBT等のスイッチングデバイスの高速化とともに、これらのデバイスに逆並列に接続される還流用ダイオード (Free-Wheeling Diode) は、高速でかつソフトリカバリ特性であることが求められています。このニーズに応えるべく、弊社では逆耐圧600Vで高速なソフトリカバリダイオードを開発しましたので、その概要を紹介します。

2. 還流用ダイオードの逆回復時の動作

誘導性(リアクトル)負荷のインバータ動作の模式図を図1に示します。IGBT等がオン状態になると、誘導性負荷(L)に電流が流れます(1)。その後IGBT等がオフになると、誘導性負荷(L)に蓄積されたエネルギーにより還流ダイオードを通して環流電流が流れます(2)。さらにIGBT等のスイッチングデバイスが再度オンになると、還流用ダイオードは、順バイアス状態から、逆バイアス電圧が印加された状態になります(3)。

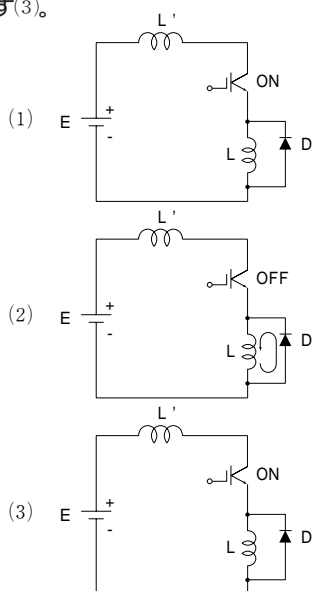


図1 テスト回路

この結果、還流ダイオードに流れていた電流は、図2に示すように、電流の減少率 ($-di/dt$) に従い徐々に減少し、一旦はゼロになりますが、その後短時間にダイオードの逆方向に大きな電流が流れます。この電流は、逆回復電流と定義されます。

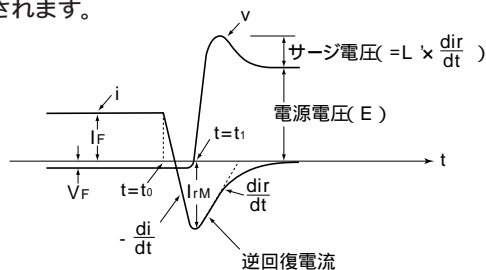


図2 逆回復時の電圧 電流波形

これをダイオード内部のキャリアのふるまいとして考えると、PN接合が順バイアスされるとN層はキャリアの注入により飽和状態になりますが、ダイオード電極に逆バイアス電圧が印加されることにより、PN接合は逆電圧回復による遮断動作を始めます。しかし、PN接合は順バイアスにより蓄積されたキャリアの飽和状態から、直ちに逆電圧が回復した状態に移行することができず、N層に蓄積された過剰キャリアは、空乏層が最初に回復するPN接合部分を基点として、電子はN層側から、正孔はP層側から排出され、最後はキャリアが再結合で消滅するまで電流が流れます。この電流は、ダイオードの逆回復電流として観測されます。

逆回復動作過程では、過剰キャリアが減少してPN接合の逆耐圧が回復するにつれて、逆回復電流は減少し流れなくなりますが、この逆回復電流の減少率 ($=dir/dt$) により、回路中の寄生インダクタンス(L)によって、サージ電圧 ($=L \times dir/dt$) が発生します。(図2)

最近のインバータ回路は、高効率化および損失の低減化を図るためにIGBT等のスイッチングデバイスの動作周波数を上げるように設計されており、この場合、接続されている還流用ダイオードに流れる逆回復電流は、高い電流減少率 ($-di/dt$) により減少します。高 di/dt 動作では、逆回復電流のピーク値が大きくなり逆回復電荷量も増加して、

スイッチング損失の増加をまねきます。また逆回復電流の減少率(di/dt)も大きくなるため、発生するサージ電圧($=L \cdot di/dt$)が大きい場合はIGBT等が破壊することがあります。

3. ソフトリカバリ特性

ダイオードの逆回復時に発生するサージ電圧を抑制するためには、逆回復電流の減少率($=di/dt$)を小さくしてソフトリカバリの特性にすることが必要です。ソフトリカバリ化を実現するために、PN接合およびN⁺層とN⁻層の境界領域の不純物プロファイルと逆回復時のキャリアの分布の依存性をポアソンの方程式、キャリアの連続方程式、キャリアの輸送方程式をシミュレーターを用いて解くことにより解析しました。これらの関係を図3に示します。

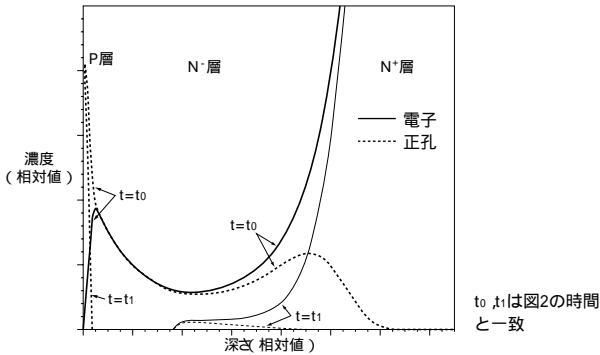


図3 逆回復動作でのダイオード内部のキャリア状態解析例

解析結果を基にして、以下の要件を設計に取り入れて、ダイオードを開発しました。

- (1) N⁺層とN⁻層の境界領域に蓄積するキャリアを逆回復時に緩やかに排出する機構
- (2) 順バイアス状態時のPN接合付近に蓄積するキャリアの低減
- (3) Si基板の抵抗率、厚み、P層の不純物濃度と深さ及びキャリアのライフタイムの最適化

4. 開発品の特長

今回開発した高速ソフトリカバリダイオードは、その用途をIGBT等のスイッチングデバイスに逆並列に接続される還流用ダイオードとしています。開発したダイオードを逆回復時の高- di/dt 状態で動作させ、発生するサージ電圧が従来品のFRDと比較して、低く抑えることができることを確認しました。図4に当社の従来品のFRD、図5に開発した高速ソフトリカバリダイオードの逆回復特性波形を示します。

開発したダイオードは、逆回復時に発生するサージ電圧及び高周波ノイズ成分を低減できるために、IGBT等を破壊する事故や、ノイズによる周辺機器、制御機器の誤動作

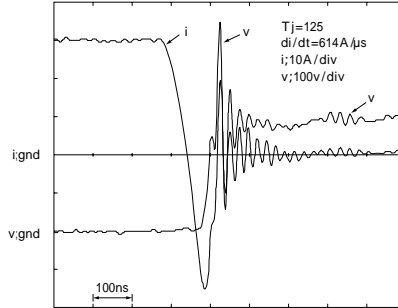


図4 当社従来品FRD

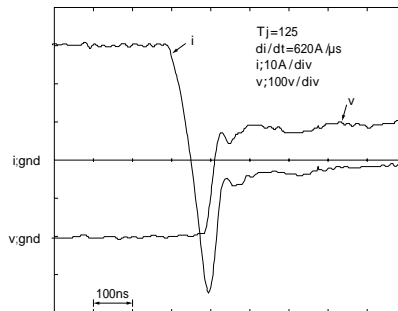


図5 開発品

を最小限に抑制することが可能です。

5. 開発製品仕様

表1にTO-247外形30A定格の開発製品定格・特性を示します。

表1 KSP30B60B開発製品定格・特性

最大定格				
項目	記号	条件	定格値	単位
繰り返しピーク逆電圧	V _{RRM}		600	V
平均整流電流	I _o	商用周波数, 正弦波180度通電	30	A
実効順電流	I _{F(RMF)}		47	A
サージ順電流	I _{FSM}	10ms単相正弦半波1サイクル非くり返し	250	A
動作接合温度範囲	T _{jw}		-40 ~ +150	
保存温度範囲	T _{stg}		-40 ~ +150	

電気的特性

項目	記号	条件	min.	typ.	max.	単位
ピーク逆電流	I _{RM}	V _{RM} =V _{RRM} , T _j =25	-	50	-	μA
ピーク順電圧	V _{FM}	I _{FM} =30A, T _j =25	-	1.7	-	V
逆回復時間	t _{rr}	I _{FM} =10A, -di/dt=50A/μs, T _j =25	-	100	-	ns
熱抵抗	R _{th(j-c)}	接合部-ケース間	-	-	1.4	/W

* KSP30B60Bアノード電極両側通電時

6. まとめ

本開発品は、高耐圧でかつ高速なソフトリカバリダイオードです。今後も市場ニーズに応えるため、逆回復特性をさらに改善した高速ソフトリカバリダイオードを開発・販売してまいります。

* 筆者紹介

- 宍戸 長次 Choji Shishido
1978年入社 現在、生産本部 開発設計部勤務
- 田山 慶昭 Michiaki Tayama
1996年入社 現在、生産本部 開発設計部勤務