

高耐壓 · 大容量 파워디바이스의 기술동향

요 몇해 사이에 고내압·대용량 파워디바이스에서는 아주 새로운 진전이 일어나고 있다. 파워일렉트로닉스 장치의 소형화·고효율화 및 제어의 고속화 등의 요구에 응할 수 있는 차세대의 새로운 소자가 출현하여 그 제품화가 비약적으로 진전되고 있는 것이다. 새로운 파워디바이스의 대표적인 것으로는 다음의 3가지를 들 수 있다.

- HVIGBT(High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor Module)
- HVIPM(High Voltage Intelligent Power Module)
- GCT(Gate Commutated Turn-off) 사이리스터

이들의 파워디바이스를 종래의 GTO(Gate Turn-off) 사이리스터와 비교해 보면 다음과 같은 특징이 있다.

- ① GTO 사이리스터가 필요로 했던 스나버회로가 없어도(Snubber-less) 턴오프가 가능하며, di/dt 억제용 아노드 리액터의 생략 또는 저감기 가능하기 때문에 반도체 주변회로의 소형화를 기할 수 있다.
- ② 게이트파워와 전체손실(소자 및 주변회로를 포함)의 저감으로 에너지 절약을 도모할 수 있다.
- ③ 스위칭주파수를 2~3kHz 정도까지 높일 수 있다.

이런 장점 때문에 다음과 같은 용도에의 적용이 기대되고 있다.

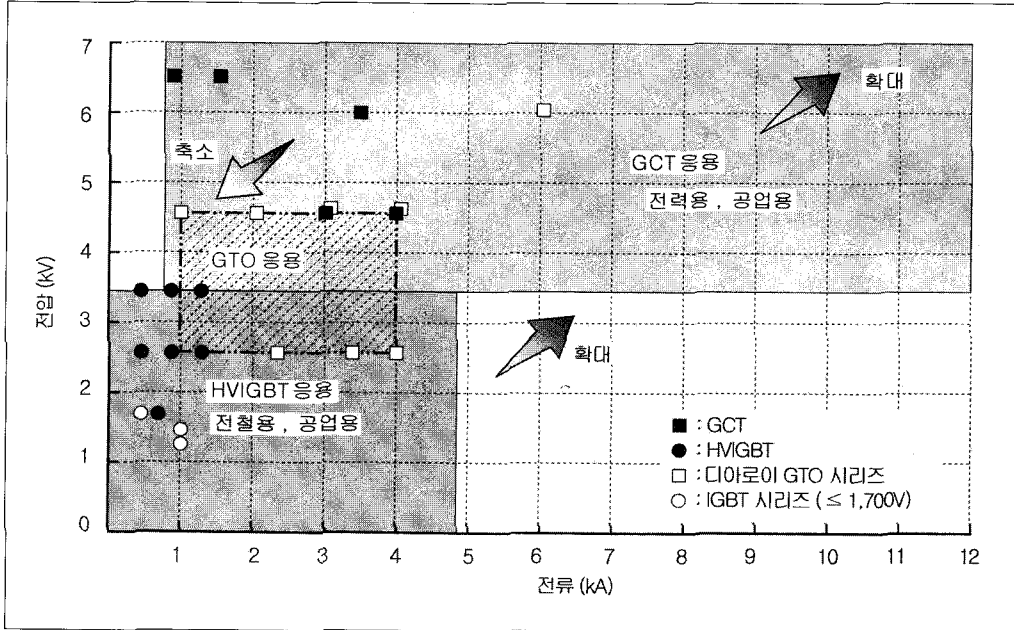
- ① 新幹線, 지하철 등의 전철 응용
- ② 액티브필터, SVG(무효전력발생장치), SVC(무효전력보상장치), BTB, 가변속 양수발전, 스위치 등의 전력응용
- ③ 철강압연이나 제지공장용 등의 대용량공업용 컨버터·인버터 응용

HVIGBT와 HVIPM은 전철분야에서 新幹線의 추진용 컨버터·인버터장치와 보조전원장치, 그리고 지하철의 추진용 인버터 장치나 보조전원장치 등에 채용되고 GCT 사이리스터는 전력용 주파수변환기 등에 실용화되고 있다.

1. 머리말

고내압·대용량 파워디바이스는 특성 개선과 함께 대용량화를 지향하여 개발되어 왔다. 이것은 파워일렉트로닉스 장치의 용량 확대에 따라 적용되는 소자에 대해서도 마찬가지로 용량에 대한 향상이 요망되었기 때

문이다. 최근에는 대용량화와 함께 새로운 파워디바이스인 HVIGBT, HVIPM의 MOS형 파워디바이스의 개발과 GCT 사이리스터의 개발에 아주 새로운 진전이 보이고 있다. 장치에 대하여는 소형화·고효율화 및 제어의 고속화 등이 요구되고 있으며, 그 요구에 응할 수 있는 차세대의 새로운 소자가 출현하여 그 제품화가



〈대전력 파워디바이스의 응용〉

GTO 사이리스터, GCT 사이리스터, HVIGBT 및 HVIPM 소자의 전압·전류정격에서의 응용영역과 앞으로의 동향을 나타낸다. 종래의 GTO 사이리스터가 사용되고 있던 대용량의 영역(전력응용이나 공업응용 등)에서는 고내압·대전류화가 용이하여 토탈 손실을 보다 저감할 수 있는 GCT 사이리스터로 바뀌어, 비교적 소용량의 영역(전철응용이나 공업응용 등)에서는 제어성이 좋아 모듈구조이며 설치가 용이한 HVIGBT나 HVIPM에로의 치환이 진전될 것으로 예상된다.

비약적으로 진전된 결과이기도 하다.

이 글에서는 최신의 고내압·대용량 파워디바이스의 제품을 소개하고 그 동향을 기술한다.

2. 제품의 종류와 대용량화

그림 1에 각종 고내압·대용량 파워디바이스의 종류와 정격(미쓰비시電機 최대용량)을 표시한다. 고내압·대용량 파워디바이스는 주로 다이오드, 사이리스터, 광(光)트리거사이리스터, GTO 사이리스터, GCT 사이리스터, HVIGBT 및 HVIPM으로 나뉜다.

그림 2에 고내압·대용량 파워디바이스의 대용량화의 변천을 나타내었다. 개발초기의 1인치 웨이퍼에서

최근의 고내압·대용량 파워디바이스에서는 최대구경(口經)인 6인치 웨이퍼를 적용한 제품의 시리즈화가 이루어지고 있다. 당초의 소자와 비교하면 용량비로 약 100배의 향상을 기할 수 있다.

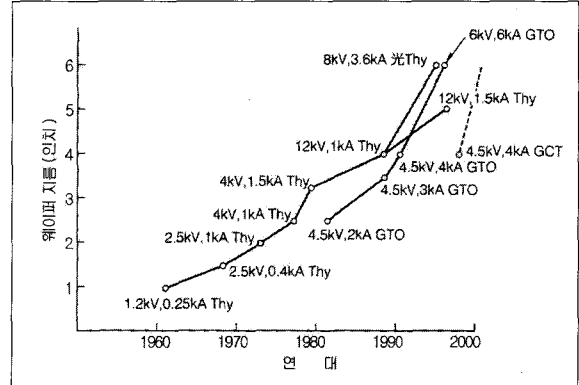
이들 사이리스터는 1장의 웨이퍼에서 하나의 디바이스가 형성되어 있으며 대구경 웨이퍼를 균일하게 확산하는 고도의 기술이 필요하게 된다. 이에 의하여 대용량이 필요한 부분에서는 직렬수 및 병렬수의 대폭적인 저감이 이루어지고 있다.

3. HVIGBT/HVIPM의 개발

HVIGBT와 HVIPM은 고내압·대용량 파워디바이

파워디바이스의 종류		정격(동시최대용량)	
고내압 · 大容量 파워디바이스	다이오드	일반용 ~2.8kV/3.5kV 고속용 ~6.0kV/3.0kV	
	사이리스터	전기트리거 사이리스터	일반용 ~12kV/1.5kV 고속용 ~1.2kV/1.5kV
		광 트리거사이리스터	~8.0kV/3.6kV
		GTO 사이리스터	~6.0kV/6.0kV
	GCT 사이리스터	~4.5kV/4.0kV	
	HVIGBT	~3.3kV/1.2kV	
	HVIPM	~3.3kV/1.2kV	

〈그림 1〉 고내압 · 大容量 파워디바이스의 종류와 정격



〈그림 2〉 고내압 · 大容量 파워디바이스의 대용량화의 변천

이 분야의 분야에서 종래의 GTO 사이리스터와 트랜지스터 모듈의 치환(置換)을 위해 사용될 것을 예상하여 고신뢰성의 프로세스기술을 적용하여 개발되었다. 적용되고 있는 주요 프로세스기술 · 검사에는 다음의 4가지가 있다.

- 접촉면적을 확대한 와이어 본딩
- 납땜 보이드를 없애는 감압(減壓) 납땜
- 납땜 보이드를 체크하는 X선 검사
- 젤 중의 기포를 없애는 감압 젤주입

그 결과 HVIGBT와 HVIPM은 공히 파워사이클의 장수명화와 코로나 개시/소멸전압의 향상에 의한 고절연내량(高絶縁耐量)이 실현되었다.

또 내부의 고내압 IGBT에는 디바이스 구조로서 편치스루형을 채용하여 프로톤조사(照射)에 의한 라이프타임 제어를 적용하고 있기 때문에 컬렉터-이미터간 포화전압과 턴오프스위칭 손실이 동시에 저감된 최적의 파워디바이스가 되고 있다.

HVIGBT와 HVIPM은 종래의 GTO 사이리스터나 트랜지스터 모듈과 비교하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 전압구동으로 되어 있어 구동회로의 소형 · 경량화와 에너지절약을 실현할 수 있다.

- ② IGBT와 다이오드가 역(逆)병렬로 접속된 복합형 파워모듈이기 때문에 다이오드가 별도로 필요한 GTO 사이리스터와 비교하여 파워디바이스 유닛의 소형 · 경량화를 실현할 수 있다.

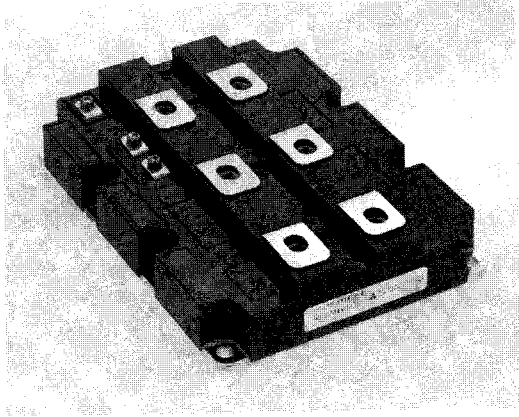
- ③ 고속스위칭 특성을 갖추고 있기 때문에 스위칭주파수를 2~3kHz 정도까지 높게 할 수가 있다.

- ④ GTO 사이리스터에서 필요로 하였던 스나버회로가 없어도(Snubber-less) 턴오프가 가능하여 di/dt 제어용의 아노드리액터도 불필요하므로 반도체 주변회로의 생략 또는 소형화를 기할 수 있다.

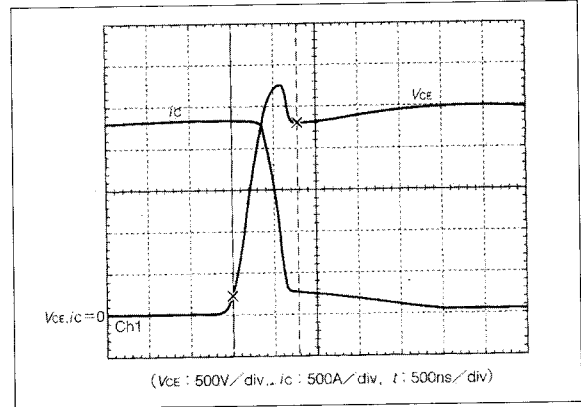
- ⑤ 트랜지스터 모듈과 비교하여 컬렉터-이미터간 전압의 고내압화가 가능하다.

예로서 3,300V/1,200A HVIGBT의 외관과 턴오프 스위칭 파형을 각각 그림 3과 그림 4에 표시하였다.

한편 HVIPM은 이들 장점에 더하여 고기능 게이트 제어회로와 이상시에 동작하는 보호회로도 갖고 있기 때문에 극히 고장이 적고 보다 더 소형 · 경량화가 가능한 파워디바이스이다. 게이트 제어회로는 턴오프스위칭시에 검출된 컬렉터전류의 di/dt가 미리 설정해둔 값을 넘는 경우에 게이트저항을 큰 값으로 바꾸어 서지전압을 억제하는 기능을 갖고 있다.



〈그림 3〉 3,300V/1,200A HVIGBT의 외관



〈그림 4〉 3,300V/1,200A HVIGBT의 턴오프스위칭 파형($T_j=25^\circ\text{C}$)

또 보호기능에는 다음의 3가지가 있으며, 보호동작시에 시스템에 이상상태를 나타내는 신호(Fo)를 출력하는 기능도 갖추고 있다.

- 과전류 보호기능(OC)
- 과열 보호기능(OT)
- 제어전압저하 보호기능(UV)

그림 5에 HVIPM의 제어·보호회로의 블록도를, 또 그림 6에 3,300V/1,200A HVIPM의 외관을 표시하였다.

HVIGBT나 HVIPM의 적용은 이미 전철분야에서 시작하고 있으며 新幹線의 추진용 컨버터·인버터장치와 보조전원장치, 또 지하철의 추진용 인버터장치와 보

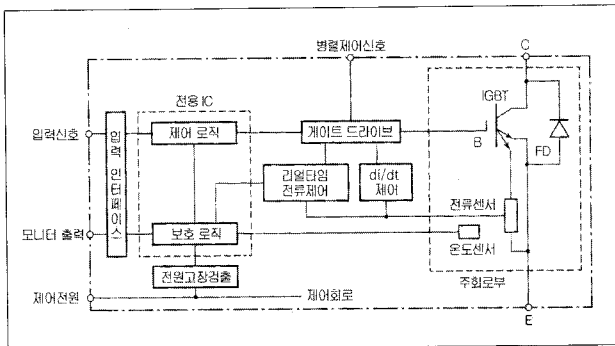
조전원장치 등에 채용되고 있다.

앞으로의 HVIGBT와 HVIPM의 과제로서 전철과 전력·공업의 고압라인에의 응용이나 고주파화 또 열(熱)스트레스의 과혹한 시스템에의 적용 등의 요구가 있어 다음과 같은 3가지를 들 수 있다.

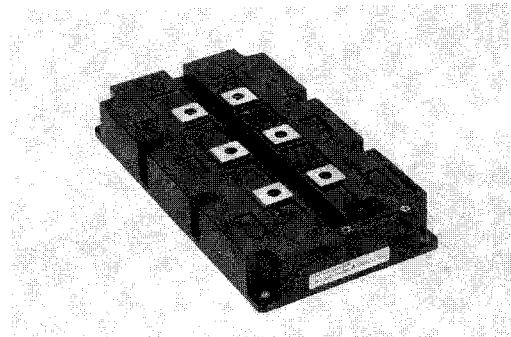
- 칩의 고내압화와 패키지의 고절연화
- 칩의 저손실화
- 신(新)재료 적용 등으로 신뢰성을 더욱 향상

4. GCT 사이리스터의 개발

GCT 사이리스터는 게이트회로에 수천A/ μs 구배



〈그림 5〉 HVIPM의 제어보호회로 블록도

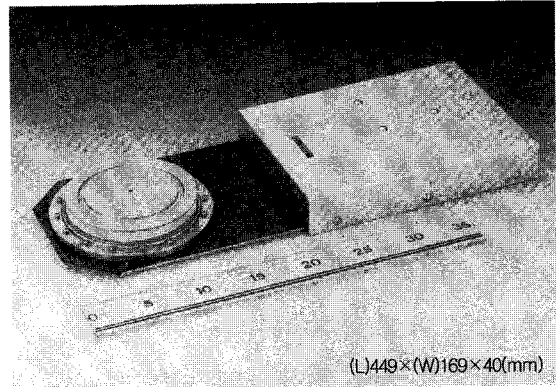


〈그림 6〉 3,300V/1,200A HVIPM의 외관

(句配)의 게이트전류로 순시에 주전류를 게이트회로에 전류(轉流)시켜 게인 하나로 턴오프함으로써 GTO 사이리스터에 비하여 턴오프시의 전류집중을 대폭 경감시킬 수 있다. 이 턴오프 동작원리에서 GCT 사이리스터(게이트轉流形 턴오프 사이리스터)라 명명되었다. 그림 7에 GTO 사이리스터와의 동작원리를 비교하여 나타내었다.

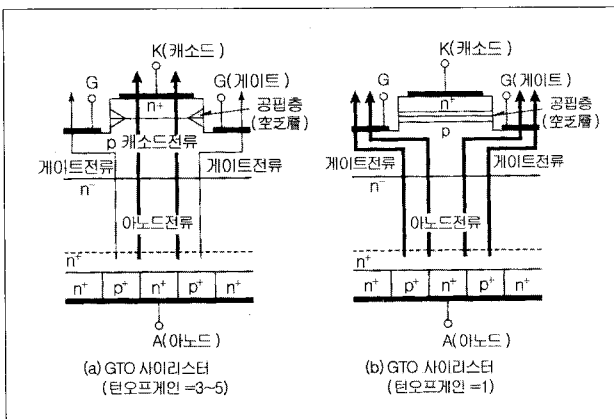
그림 8에는 4,500V/4,000A GCT 사이리스터를 게이트 드라이버에 넣었을 때의 외관을 표시하였다. 외주부에 링모양의 게이트전극을 설치함으로써 패키지의 인덕턴스를 GTO 사이리스터의 약 1/10로 저감시키고 있다. 또한 게이트드라이브 회로와의 접속을 적층기판(積層基板)에서 함으로써 게이트회로 및 소자의 게이트-캐소드간을 포함한 게이트드라이브회로 전체의 인덕턴스를 종래의 GTO 사이리스터의 약 1/100(수 nH)로 저감시키고 있다. 이에 의하여 게이트드라이브 회로의 전원전압을 크게 변경시키지 않고(게이트 전압: $V_G = 20V$), 수천 $A/\mu s$ 의 오프게이트전류 상승률(di_{GQ}/dt)을 가능케 하였다.

GCT 사이리스터는 다음과 같은 우수한 장점을 갖고 있다.

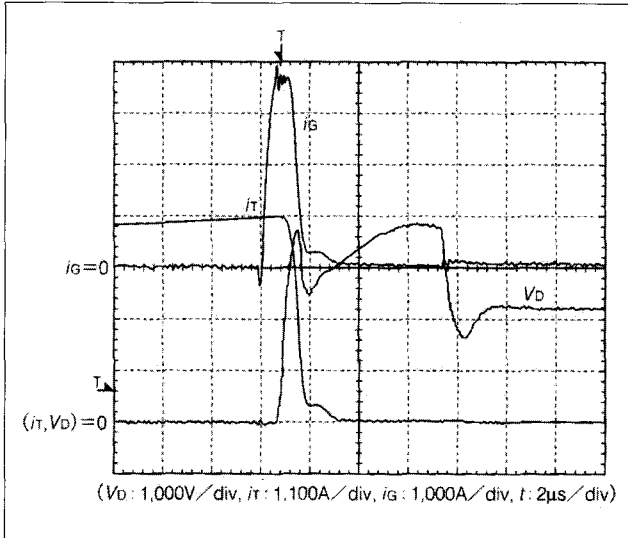


〈그림 8〉 4,500V/4,000A GCT 사이리스터 (게이트 드라이버 설치시의) 외관

- ① GTO 사이리스터에서 필요로 하였던 스나버회로가 없어도(스나버레스) 턴오프가 가능하다.
- ② 축적시간을 줄일 수 있어(GTO 사이리스터에 비하여 1/10), 스위칭주파수를 2~3kHz로 향상시킬 수 있다. 또 축적시간의 들쭉날쭉이 적어져 직병렬(直並列)접속이 쉽게 된다.
- ③ GTO 사이리스터에 비하여 게이트축적 전하를 반감할 수 있어 게이트파워를 30~40% 저감시킬 수 있다.
- ④ GTO 사이리스터에 비해 di/dt 내량을 2배 이상 향상시킬 수 있어, di/dt 억제용 아노드리액터를 반감시킬 수 있다.
- ⑤ GTO 사이리스터와 마찬가지로의 압접(壓接)타입의 평형(平形)패키지를 적용하고 있으며 GTO 사이리스터와의 치환(置換)이 용이하다.
- ⑥ 스나버회로를 사용하지 않아도 되기 때문에 종래의 GTO 사이리스터와 비교할 때 소자, 스나버회로 및 아노드리액터를 포함한 전체손실이 부하시에는 50% 이하로 억제되고 무부하시에는 거의 손실발생이 없다.
- ⑦ GTO 사이리스터와 마찬가지로 사이리스터 구조이기 때문에 낮은 온(On) 전압으로 고내압·대전



〈그림 7〉 GTO 사이리스터와 GCT 사이리스터의 동작원리 비교



〈그림 9〉 4,500V/4,000A GCT 사이리스터의 턴오프스위칭 파형($T_j=25^{\circ}\text{C}$)

류화가 용이하다.

그림 9에 GCT 사이리스터의 턴오프시의 스위칭파형을 표시한다(게이트전류의 극성은 반전시키고 있다).

GCT 사이리스터는 전력용 주파수변환기 등에 이미 사용되고 있다. 또 GCT 사이리스터는 고내압화가 쉽다는 특징을 살려 앞으로 더욱 시리즈화가 이루어질 예정이다.

5. 제품의 응용분야와 동향

고내압·대용량 파워디바이스는 주로 다음과 같은 용도에 적용된다.

- 新幹線, 지하철 등 전철에 응용
- 액티브 필터, SVG(무효전력발생장치), SVC(무효전력보상장치), BTB, 가변속 양수발전, 스위치 등의 전력응용
- 철강압연이나 제지공장용 등의 대용량 공업용 컨

버터·인버터 응용

종래의 GTO 사이리스터가 사용되고 있었던 대용량의 영역(전력응용과 공업응용 등)에서는 고내압·대전류화가 용이하여 토탈손실을 보다 더 저감할 수 있는 GCT 사이리스터로 바뀌고 비교적 소용량의 영역(전철응용과 공업응용 등)에서는 제어성이 좋고 모듈구조로 장치에 짜넣기 쉬운 HVIGBT, HVIPM으로 이미 바뀌지고 있다.

GCT 사이리스터는 고내압화가 가능하기 때문에 앞으로 고내압·저전류 분야(주로 고전압라인의 공업용 인버터 용도)에서도 응용이 확대될 것으로 예상되고 있다.

초고내압인 12kV 사이리스터는 고압의 전력계통에 직접 적용되어 종래의 기계식 스위치를 바꿔놓은 교류스위치 용도와 SVC의 응용 등에 사용되고 있으며, 광(光)트리거 사이리스터에 대해서는 직류송전에 적용되고 있다.

초고내압·대용량 소자는 종래의 소자에 비하여 사용수량이 대폭적으로 줄고 있어 소형화·고효율화·고신뢰도화가 가능하게 됨으로써 앞으로 보다 넓은 범위에 적용될 것으로 전망된다.

6. 맺음말

고내압·대용량 파워디바이스는 이상과 같은 HVIGBT와 HVIPM, GCT 사이리스터 등의 제품화 개발로 새로운 진전을 보이고 있다. 앞으로 이들 소자가 적용되어 대용량 파워일렉트로닉스 장치에의 응용이 보다 더 확대되어 갈 것으로 기대된다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.