



# 파워디바이스의 低 Noise化 동향

전력·교통·산업·정보·가전의 각 분야에서 파워일렉트로닉스를 지탱하는 소자로서 파워디바이스가 하는 역할은 매우 크다. 특히 최근에는 지구온난화대책으로서 CO<sub>2</sub>의 배출규제와 화석에너지 고갈에 대한 대응이 요구되고 있다. 이를 해결하기 위해 각종 전기기기 분야에서는 파워일렉트로닉스를 활용한 산업용 모터의 제어와 에어컨·냉장고 등의 쉘에너지, 그리고 환경보호를 위한 전기자동차의 보급, 태양광발전과 풍력발전 등의 신에너지의 개발이 활발해지고 있다.

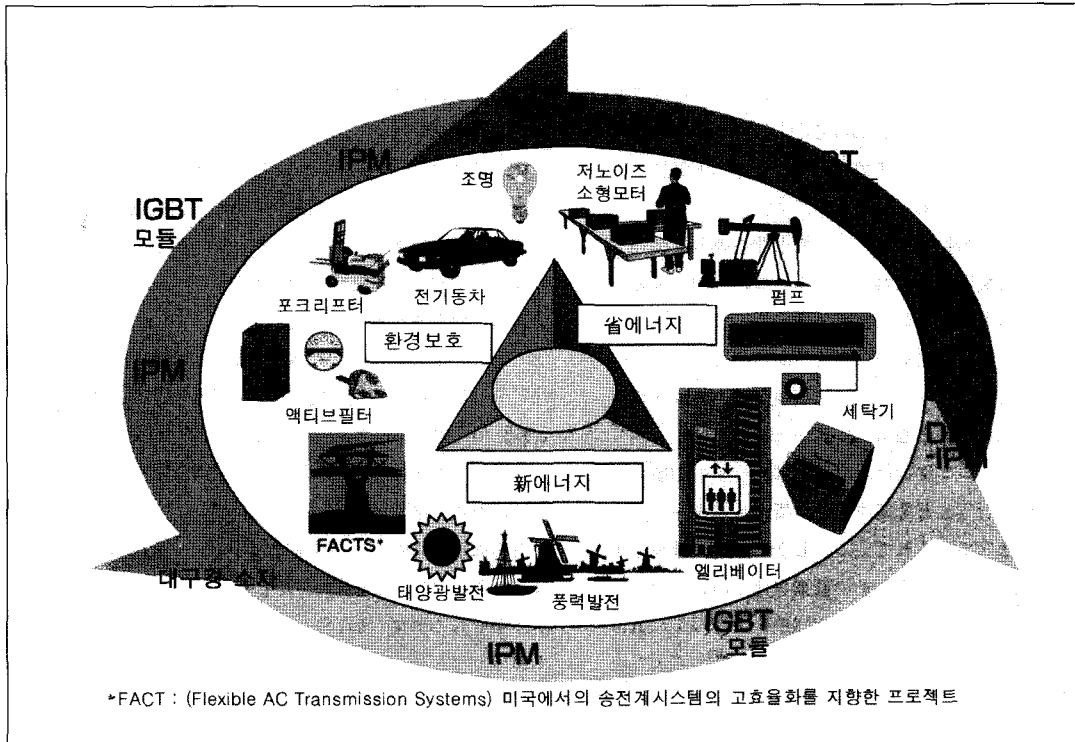
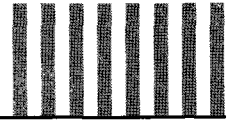
이와 같이 파워일렉트로닉스의 발전은 사회에 커다란 혜택을 가져다주었으나 동시에 전원의 고조파와 EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 문제를 초래하고 있다. 고조파 문제에 대해서는 액티브필터용 IPM (Intelligent Power Module) 등의 등장으로, 기기측에서 적극적으로 대책을 강구하고 있으나, 한편 EMC의 대응은 고조파대책에 비하여 다소 어려움이 있어 업계 전체적으로는 이제야 대응이 시작된 단계이다.

최근 파워디바이스의 주류가 된 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)는 고속성과 低포화전압이 인정되었으나 IGBT가 갖고 있는 고속 Switching 특성 때문에 EMC 대응이 문제가 되고 있다. 따라서 IGBT 자신의 특성 개선은 물론 還流다이오드의 회복전류의 소프트화, 패키지의 개량, IGBT의 新구동방식의 개발 등, 파워디바이스 전체적으로 EMC에의 대응이 시작되었다.

## 1. 머리말

파워디바이스는 여러 가지 형태의 전력변환장치에 관계되는 한편 사회적으로도 대단히 중요한 역할을 하고 있다. 특히 최근에는 지구환경문제와 에너지 위기에 대한 해결책으로서 파워 일렉트로닉스나 에너지 일렉트로닉스에 거는 기대가 크다. 그 중에서도 파워디바이스는 이들 기술의 중심이 되는 기간제품이며 전력의 발생(발

전), 수송(송전) 및 이용의 모든 과정에 관여하고 있다. 미쓰비시電機에서는 이들 각 분야의 효율화를 위하여 다수의 새로운 디바이스를 개발하여 왔다. “발전” 과정에서는 CO<sub>2</sub>의 배출규제와 화석에너지 고갈에 대한 대책으로 태양광발전과 풍력발전의 실용화가 추진되고 있다. 이에 대응하여 태양광발전을 위한 고변환효율을 목표로 한 트렌치 IGBT 탑재의 IPM과 풍력발전용 대용량(1.2kV, 600~800A) IPM을 개발하였다. 또 “송



〈환경요청에 따라 시장확대가 기대되는 파워디바이스〉

에너지, 新에너지, 환경보호 등의 요청은 파워일렉트로닉스에 의하여 새로운 시장을 창출하고 있다고 할 수 있다. 이들의 응용분야에서 파워디바이스가 하는 역할은 크다.

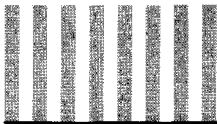
전” 과정에서는 FACTS(Flexible AC Transmission System)과 DC 송전을 위하여 많은 고내압 Bipolar 디바이스를 개발하였다. 그 중에서도 세계 최대용량의 DC 송전용 8kV, 4kA 光사이리스터와 GTO의 스나버 레스화를 실현한 GCT(Gate Commutated Turn-off) 사이리스터는 특필할 만한 디바이스이다.

“전력이용” 과정에서는 전기에너지의 효율적 활용을 추구하는 가운데 모든 영역에 인버터 기술이 확대되어 왔다. 먼저 공장설비의 에너지화를 목적으로 한 범용인버터가 크게 침투된 후, 전철과 전기자동차 등의 수송기관에서 공조기·냉장고·세탁기 등의 家庭電化제품까지 인버터제어가 폭넓게 보급되기 시작하고 있다. 동사는 범용인버터용 디바이스로 배양된 기술을 기반으로

하여 이들의 새로운 응용분야마다 전용 디바이스를 개발하여 각 영역에서의 에너지이용 효율화를 측면 지원하고 있다. 예를 들면 1997년에 개발한 新幹線과 각각의 전기자동차용 전용 IPM은 이들 영역에서 IPM을 응용하는 업계최초의 시도이며, 그 고기능화와 고신뢰도로 이들 기기의 실용화에 크게 공헌하였다. 또 가정전화제품의 인버터화 확대에 대비하여 低코스트를 목표로 개발한 트랜스퍼몰드형 IPM(DIP-IPM)의 수요가 급속히 확대되고 있다.

## 2. 電磁 Noise 문제의 배경

파워 일렉트로닉스의 발전은 사회에 커다란 혜택을



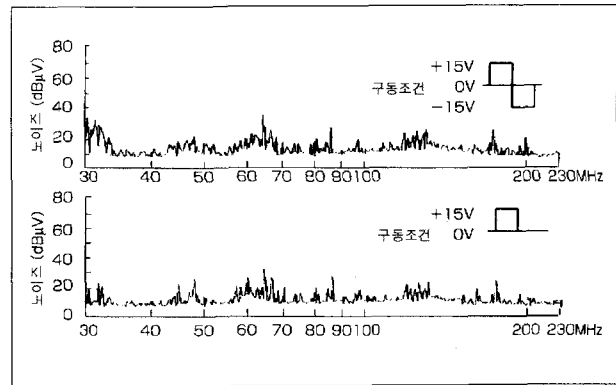
가져왔으나 동시에 다음 두 가지의 새로운 문제를 초래하였다. 그 하나는 콘덴서 인풋형 기기에서 기인하는 전원고조파문제이고 또 하나는 고주파 Switching에 수반하는 電磁 노이즈이다. 전자의 개선은 주로 기기측이 해결해 나가고 있으며 고조파 억제를 위한 제어방식이 적극적으로 검토되고 있다. 이러한 움직임에 대응하여 동사에서도 공조기용 액티브필터 IPM을 개발하였다. 이 IPM의 시리즈 전개로 고조파대책을 지원해 나가고자 하고 있다.

고조파대책에 비하여 전자노이즈에의 대응은 어려운 점이 많아 업계 전체적으로는 이제 대응이 시작되는 시점이다. 이 문제는 파워디바이스의 고성능화에 따른 고속스위칭에 기인하는 것으로 노이즈에 민감한 전자기와 파워디바이스의 접점이 증가하는 가운데 문제가 확대되고 있다. 이 때문에 전세계적으로 전자노이즈의 규제강화를 위해 여러 가지 규격화가 추진되고 있다. 전자노이즈의 저감에는 파워디바이스측의 개선이 반드시 필요하기 때문에 동사에서는 종래부터 여러 면에서 개선책을 검토하여 왔다.

다음에 이 문제에 대한 동사의 파워디바이스에의 대응과 업계의 동향에 대하여 기술한다.

### 3. 파워 디바이스와 電磁 Noise의 관계

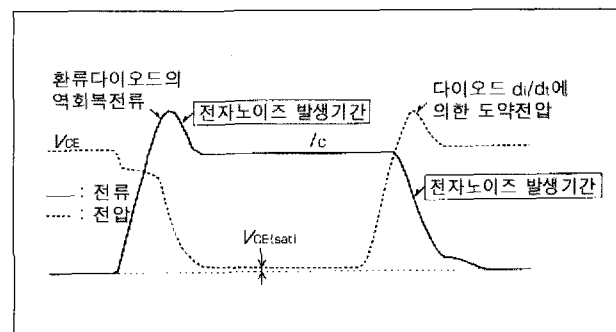
파워 일렉트로닉스 분야에서 IGBT가 주류가 된 가운데, 고속스위칭에 의한 전자노이즈가 사회문제로 되고 있다. 이 전자노이즈는 ① 동력배선이나 접지배선을 경유하는 傳導性 노이즈와, ② 이들 배선에서 직접 전자파로서 방사하는 放射性 노이즈로 대별되며, 어느 것이나 파워디바이스의 스위칭특성과 주변회로의 조건에 의존하고 있다. 그림 1에 인버터로부터 나오는 전자노이즈의 스펙트럼을 표시하였다. 그림에 표시하는 30MHz



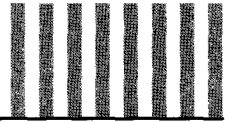
〈그림 1〉 IGBT의 게이트 구동조건과 노이즈의 관계

이상이 방사노이즈에, 30MHz 이하가 전도성노이즈에 대응하며, 각 영역에서의 Emission Level에 대한 규제가 강화되어 가고 있다.

IGBT의 L부하 Switching 파형은 그림 2에 표시하는 것과 같고 전자노이즈는 Turn-on시의 還流다이오드의 逆回復期間이나 Turn-off시의 전류감쇄기간에서 전압 및 전류의 가파른 변화(dv/dt, di/dt)에 따른 고주파 진동전류에 크게 의존한다. 따라서 IGBT의 게이트 구동조건이 노이즈에 영향을 주며 조건완화에 의한 dv/dt나 di/dt의 억제가 노이즈 저감의 가장 간편한 수단이 된다. 그림1에 게이트전압을 ±15V와 +15~0V로 구동한 경우의 노이즈 스펙트럼을 표시하였다. 후자의 완화된 조건으로 dv/dt나 di/dt가 내려가 노이즈가



〈그림 2〉 IGBT의 스위칭波형과 노이즈의 관계



억제되고 있음을 알 수 있다. 또 구동조건 완화의 가장 간편한 방법은 게이트저항( $R_G$ )을 증가시키는 것이다. 다만  $R_G$ 를 증가시키면 스위칭손실이 증대하기 때문에 IGBT의 포화전압( $V_{CE(sat)}$ )의 저감에 의한 정상손실의 삭감으로 이것을 상쇄할 필요가 있다.

게이트 구동조건 완화의 의하지 않고 IGBT나 다이오드 자신의 스위칭 파형을 매끄럽게 하는 대책도 중요하게 된다. 그래서 게이트 구동조건 이외에 스위칭파형에 영향을 미칠 가능성이 있는 요소에 대하여 시뮬레이션 한 결과 스위칭파형의 平滑化에는 ① 환류다이오드의 소프트 리커버리화, ② 모듈패키지의 저인덕턴스화, ③ IGBT 입력용량의 증가가 유효하다는 것이 판명되었다.

또한  $di/dt$ 와  $dv/dt$ 를 검출하면서 이와 연동하여 IGBT의 게이트 구동조건을 제어할 수 있다면 전류 및 전압의 변화율이 큰 부분만을 平滑化할 수가 있게 된다. 이로써 직접적이고 유효한 전자노이즈 저감책이 될 수 있다.

이상과 같은 생각을 바탕으로 다음의 3방향에서 전자노이즈 저감활동을 추진하여 왔다.

- IGBT 및 환류다이오드의 성능 개선
- 모듈패키지의 저인덕턴스화
- $di/dt$  제어가능한 IGBT 구동방식의 개발

아래에 이들 과제에 대한 동사의 파워디바이스에의 대처와 업계의 동향을 기술한다.

## 4. 파워디바이스의 低 Noise化 움직임

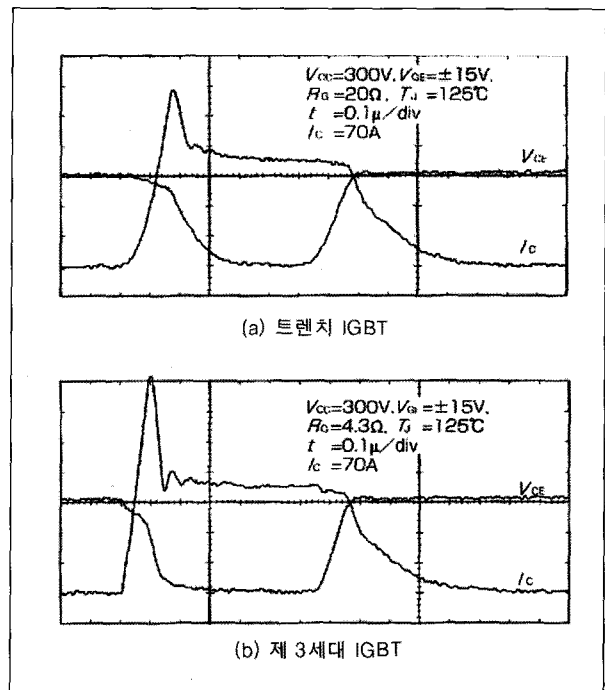
### 가. IGBT의 성능개선

전술한 바와 같이 低노이즈화를 위해서는 IGBT의 입력용량을 응용상 문제가 없는 범위 내에서 증가시키고 동시에  $V_{CE(sat)}$ 를 낮추어 저노이즈화를 위한 스위칭

손실의 증대를 상쇄할 필요가 있다. 이 요청에 따라 여러 가지의 구조를 검토한 결과 트렌치게이트 구조가 최적이라는 결론을 얻었다. 트렌치구조의 경우 MOS 채널밀도를 높임으로써 입력용량이 증가하게 되고 동시에 導通時의 채널영역의 저항이 감소하여  $V_{CE(sat)}$ 의 대폭적인 저감이 가능하다. 이 때문에 트렌치 IGBT의 스위칭 손실( $E_{sw}$ )은 동일구동조건이면 동등한  $V_{CE(sat)}$ 를 갖는 제3세대 IGBT의 약 70%로 저감된다. 따라서 트렌치 IGBT는 스위칭 손실을 희생하더라도 제3세대와 동등한 전력손실을 유지하면서 노이즈 저감을 도모할 수 있는 여지가 있게 된다.

그림 3에 인버터 동작에서 동등한 전력손실이 되도록  $R_G$ 를 조정한 트렌치구조와 제3세대의 IGBT의 스위칭 파형을 표시한다. 트렌치 IGBT의 경우  $dv/dt$ 와  $di/dt$ 가 대폭 완화되고 있음을 알 수 있다.

시장에서도 트렌치 IGBT의 샘플 공급을 알리는 베이

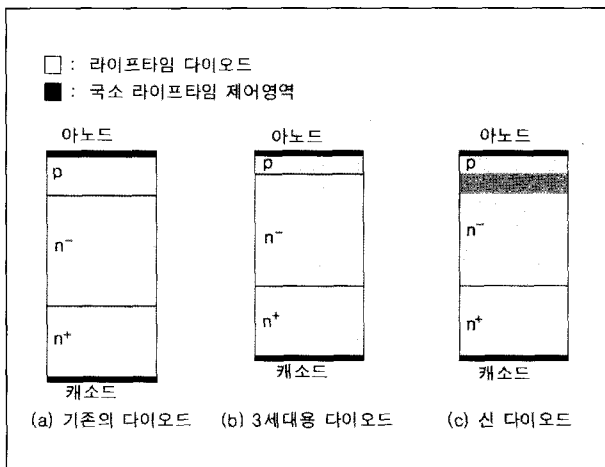


(그림 3) 스위칭 파형에 대한 트렌치구조의 효과

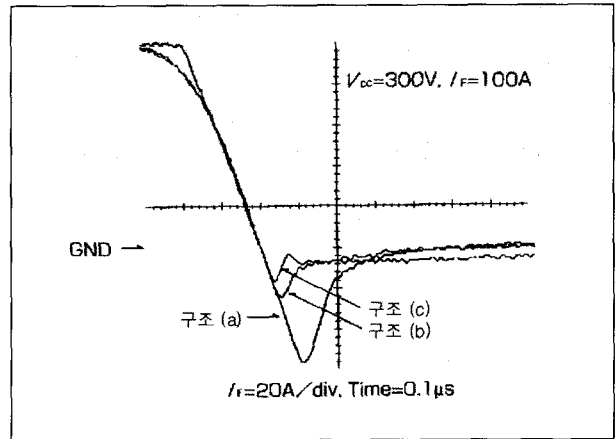
커가 나오기 시작하였다. 저노이즈/저손실의 트레이드 오프 개선을 위하여 트렌치게이트화가 진전될 것으로 생각된다.

### 나. 다이오드의 성능개선

이상에서 기술한 바와 같이 노이즈 저감을 위한 다이오드의 과제는 Soft Recovery化이며 이것은 종래부터 중점적으로 대처해온 테마의 하나이다. 그림 4에 소프트 리커버리화를 위한 다이오드의 進歩履歷을 단면구조의 변천으로 표시하였다. 그림의 (a)는 IGBT 모듈의 제1세대와 제2세대에서 사용된 종래구조의 다이오드로서 고농도로 두터운 P아노드를 갖고 있다. 그림의 (b)는 제3세대에 사용된 다이오드로 (a)에 비하여 P아노드를 저농도로 얇게 형성하고 있으며 P아노드로부터의 正孔의 주입효율을 억제하고 있다. (c)에서는 (b)의 구조에서 사선으로 표시하는 영역의 라이프타임을 국소적으로 단축함으로써 다이오드의 順전압강하( $V_F$ )를 희생함이 없이 정공의 주입을 (b) 이하로 억제할 수 있다. 이들 다이오드의 리커버리전류 파형을 그림 5에 표시한다. 세대가 진전됨에 따라 소프트 리커버리화되고 있음을 알 수 있다.



〈그림 4〉 환류다이오드 구조의 추이



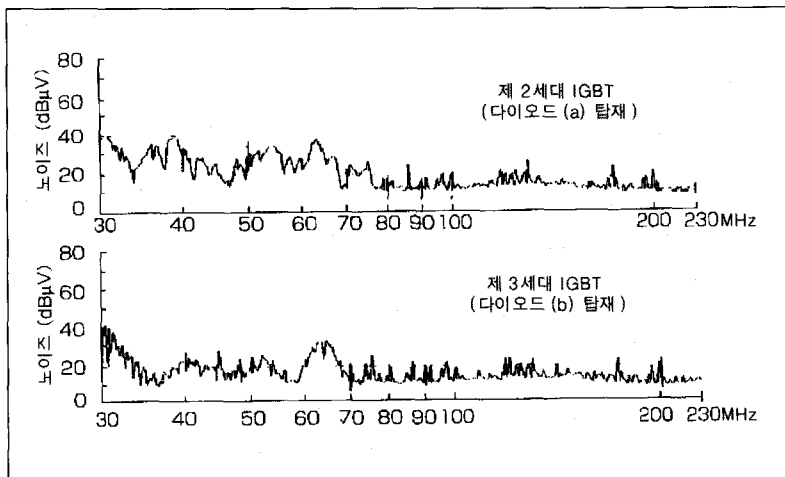
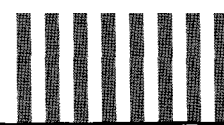
〈그림 5〉 각 다이오드의 구조에서의 리커버리 전류파형

그림 6에 그림5의 (a)를 탑재한 제2세대 IGBT 모듈과 (b)를 탑재한 제3세대품의 노이즈 스펙트럼을 표시하였다. 제3세대의 노이즈레벨이 거의 전역에 걸쳐서 낮은 것을 알 수 있다.

환류다이오드의 소프트 리커버리화는 종래부터 IGBT 턴온 손실저감수단으로 검토되어 각사에서 여러 가지 새로운 구조가 제안되었다. 노이즈 저감면에서도 이 움직임이 가속화될 것으로 생각된다.

### 다. 모듈패키지의 低인덕턴스化

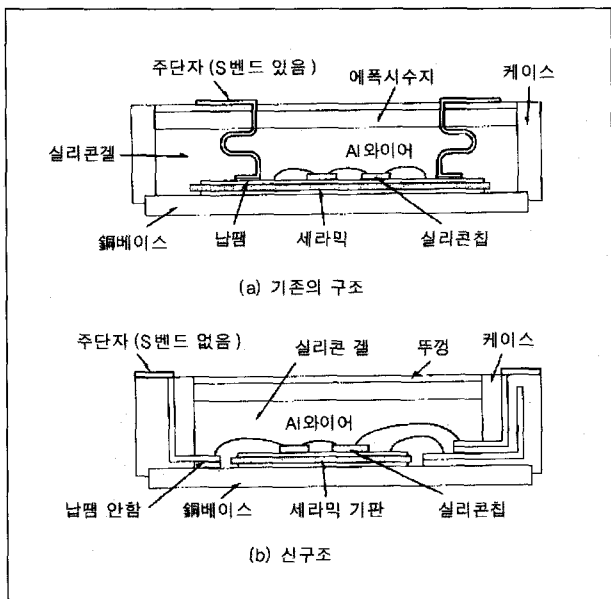
제3세대 IGBT 모듈의 H시리즈의 뒤를 잇게 될 U시리즈용으로 저인덕턴스화를 겨냥한 패키지를 개발하였다. 이것은 기존에 사용해오던 모듈 패키지의 발상을 크게 바꾼 것으로 다음의 특징을 들 수 있다. 즉 모든 전극단자를 케이스에 놓음으로써 모듈내의 단자배선이나 응력완화용의 S형단자에 의한 인덕턴스를 배제하고 또 모듈내에 가능한 한 근접한 逆平行 전류로 자계를 상쇄하는 구조로 하여 업계최소레벨의 “寄生” 인덕턴스를 실현하였다. 그림 7에 양패키지의 단면 이미지도를, 그림 8에 H와 U시리즈의 IGBT의 턴오프파형을 표시한다. 인덕턴스의 저감으로 U시리즈의 뛰어오르는 전



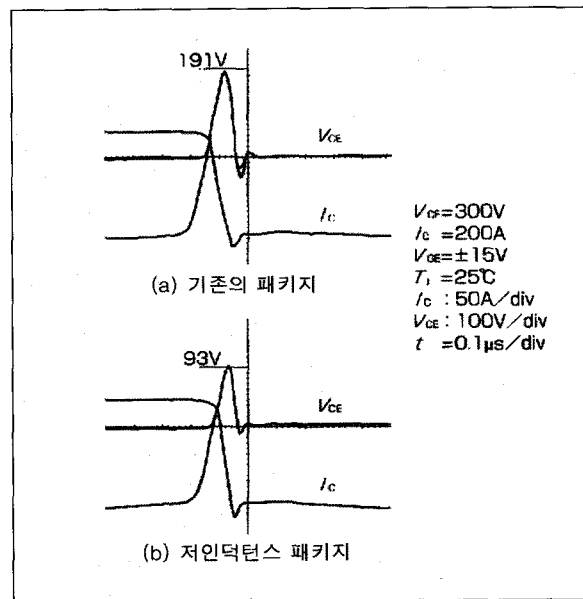
〈그림 6〉 환류다이오드의 리커버리 특성과 노이즈의 관계

압이 억제되고 있음을 알 수 있다.

상기 개념에 의한 패키지가 최근에 타사에서도 발표되었다. 이 구조는 전자노이즈의 저감을 위해 IGBT 등의 고속 디바이스용 패키지의 주류가 될 것으로 생각된다.



〈그림 7〉 기존의 패키지구조와 低인덕턴스 구조의 비교



〈그림 8〉 턴오프파형에의 패키지 低인덕턴스화의 영향

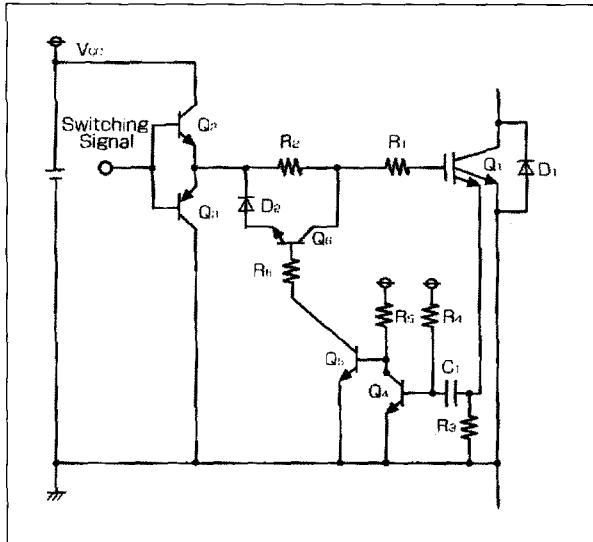
## 라. di/dt 제어가능한 IGBT 구동방식의 개발

보다 직접적인 스위칭파형의 평활화의 수단으로 스위칭파형을 감지하면서 di/dt의 급준한 부분만을 평활화하는 구동제어방식을 개발중에 있다. 다만 이 방식에는 대단히 단시간의 피드백이 요구되므로 Sensing이나 연산방식 등 앞으로의 개발에 의존해야 하는 것이 많다.

여기서는 이 방식의 컨셉트를 표시하는 일례로서 di/dt 제어기능을 갖는

IPM의 구동회로를 그림 9에 표시하였다.

이 구동방식은 IGBT의 컬렉터전류의 감쇄율(di/dt)을 검출하여 di/dt가 설정치를 넘으면 IGBT의 R<sub>GL</sub>를 증가시켜 di/dt를 억제하는 것을 겨냥하고 있다. 그림 10에 종래의 구동방식과 이번 방식에서의 턴오프 di/



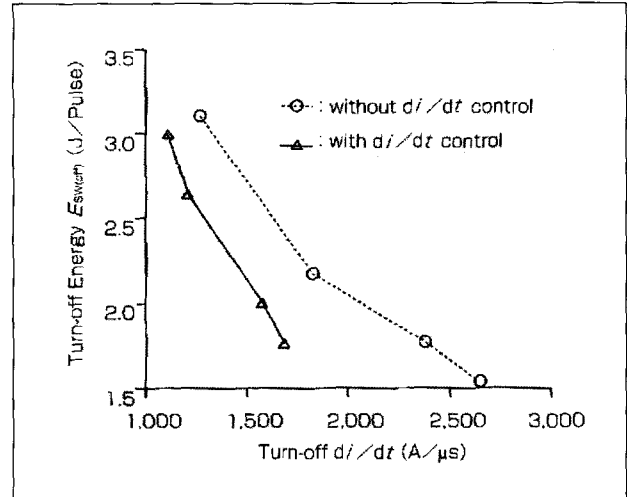
〈그림 9〉 di/dt 제어기능을 갖는 구동회로

dt와 턴오프 손실( $E_{SW(off)}$ )관계를 표시한다. 이 방식에서는  $E_{SW(off)}$ 을 증가시키지 않고 di/dt를 30~40% 저감할 수 있음을 알 수 있다. 다만 이 구동방식에서는 di/dt나 dv/dt의 급격한 부분만을 완화한다는 점제한 제어를 할 수 없다. 응답시간의 단축과 새로운 제어방식을 위하여 연구개발에 더욱 진력하고 있다.

di/dt 제어를 위해 몇몇 메이커로부터 독자적인 제어방식이 제안되어 있는데 아직 어느것이냐 실용화에는 이르지 못하고 있다. di/dt 제어는 파워디바이스측으로부터의 가장 직접적인 전자노이즈 저감수단으로 계속 연구가 요망된다.

## 5. 맺음말

미쓰비시電機 파워디바이스의 전자노이즈저감에 대한 대처는 ① 파워칩의 소프트 스위칭화, ② 패키지의 寄生 인덕턴스의 저감, ③ di/dt 제어가 가능한 IGBT의 구동방식의 개발의 3개 방향으로 추진하여 왔다. ①을 위해서는 트랜치 IGBT의 개발과 제품화 및 다이오드



〈그림 10〉 구동방식과 di/dt 및  $E_{SW(off)}$ 의 관계

의 소프트 리커버리화를 추진하여 노이즈 저감을 위한 효과가 나오기 시작하고 있다. ②에 대하여는 寄生 인덕턴스 저감을 겨냥한 신규의 패키지를 개발하여 U시리즈로서 제품화하였다. ③에 관하여는 개발단계에 있으며 센싱이나 신호처리방법의 개선을 추진, IPM으로서의 제품화를 서두르고 있다.

타사로부터도 트랜치 IGBT와 상기와 같은 컨셉트의 패키지의 제품화가 발표되거나 di/dt 제어를 위한 구동방식이 학회에 발표되는 등 시장 전체적으로도 전술한 방향에 따라 파워디바이스측에서의 노이즈 저감에 대한 움직임이 시작된 것으로 보인다. ❑

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.