

# 파워 디바이스의 現況과 展望

## 1. 머리말

최근의 파워 일렉트로닉스는 電力·産業·情報·家電의 각 분야에서 “인버터化”를 키워드로 하여 눈부신 발전을 하고 있으며, 이는 키 컴포넌트인 파워 디바이스의 발전에 힘입은 바가 크다.

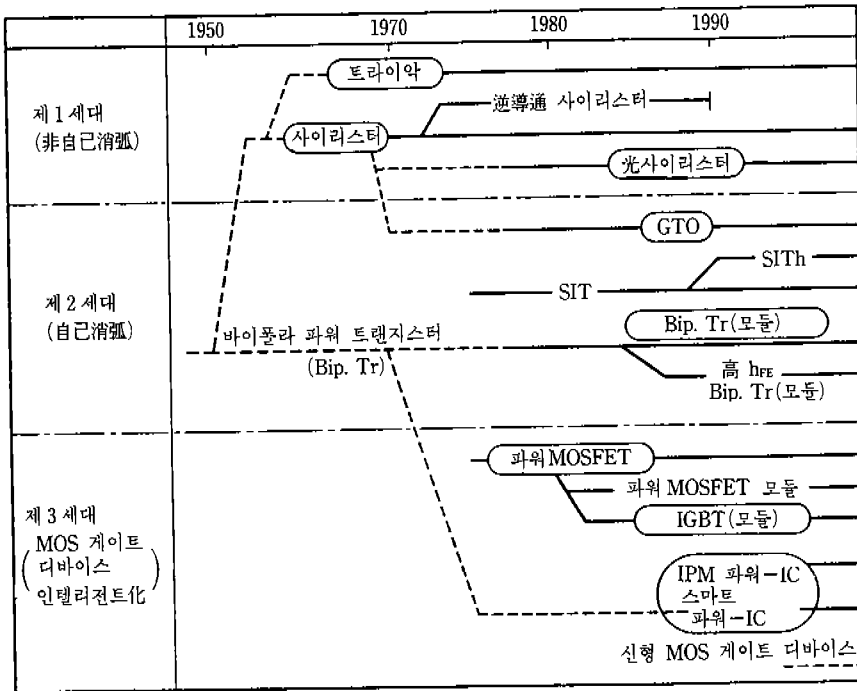
한편 이들 파워 디바이스에는 그 應用裝置나 사용목적에 따라서 많은 종류가 있으며, 응용분야로서의 니즈에 따라 性能改善과 새로운 파워 디바이스의 개발이 추진되고 있다.

파워 디바이스의 向上에 대해 살펴보면 그림 1에 나타내고 있는 바와 같이 1960년대는 사이리스터의 등장에 의해서 파워 디바이스의 제1세대가 진로를 열었다. 1970년대 후반에는 오일쇼크에 의한 에너지 節約型機器의 필요성이 요구되는 가운데 바이폴라 트랜지스터 모듈이나 GTO (Gate-Turn-Off Thyristor) 등 自己消弧形素子를 키 디바이스로 한 인버터化가 발전하여 파워 디바이스의 제2세대를 구축했다. 더욱이 1990년대에 진입하면 파워 디바이스는 제3세대로 발전함으로써 MOS(Metal-Oxide Silicon) 게이트화나 인텔리전트化가 주목받게 되었다.

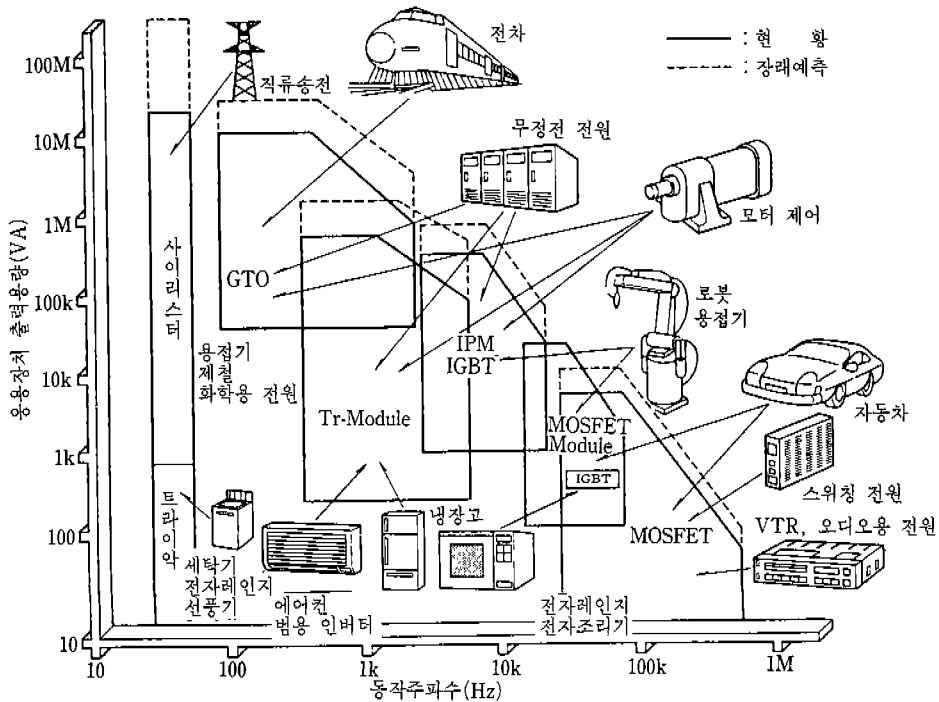
파워 일렉트로닉스의 발전에 크게 공헌하는 이들 파워 디바이스는 市場 니즈에 대응하여 高周波化가 진척되어 그 응용분야도 크게 확대되었다. 그림 2에 파워 디바이스의 응용분야에 대하여 응용장치의 出力容量과 動作周波數의 관계를 나타낸다.

파워 디바이스의 MOS 게이트化가 추진되는 가운데 최근에는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)의 高速 스위칭이 가능하게 되어 電壓·電流定格도 거의 종래의 바이폴라 트랜지스터와 동등한 비교적 큰 용량이 현실 가능하게 됨으로써 관심을 끌게 되었다. 최근에는 微細化·高性能化의 기술혁신에 의하여 世代交替를 거듭하며 인버터장치 등 산업기기의 小型化·高性能化에 커다란 충격을 주고 있다.

더욱이 파워 디바이스는 성능개선에 그치지 않고 사용하기에 편리한 것을 추구하는 인텔리전트化의 기미를 보이고 있다. IPM(Intelligent Power Module)과 파워 IC가 그 대표적인 것으로 파워 디바이스에 驅動回路·保護回路·通信回路 등을 1모듈 또는 1칩으로 구성함으로써 응용장치의 小型化·高機能化에 크게 공헌하고 있다.



<그림 1> 파워 디바이스의 發展



<그림 2> 파워 디바이스의 응용분야

## 2. 大電力 사이리스터·GTO의 大容量化의 動向

### 2·1 사이리스터의 大容量化

사이리스터는 高耐壓·大電流의 領域으로 응용이 확대되고 있다.

高耐壓 사이리스터에서는 12kV, 1kA의 것이 실용화되어 전력계통의 區分閉器나 SVC (Static Var Compensator : 靜止型無効電力補償裝置) 등에 사용되고 있다. 光트리지 사이리스터는 誘導 노이즈에 의한 誤動作 방지나 게이트 회로의 간소화에 유효하며 차세대 전력용 사이리스터로서의 기대하는 바가 크다. 현재 6kV, 2.5kA까지의 것이 주파수 변환장치나 SVC에 사용되고 있다. 앞으로 장치의 대형화나 새로운 직류송전 등의 응용확대에 수반하여 예를 들어 8kV, 3kA 이상의 高耐壓 大電流 사이리스터가 기대되고 있다.

이와 같은 사이리스터를 실현하기 위해서는 지름 6인치에 이르는 웨허가 필요하게 된다. 美國 EPRI(Electric Power Reserch Institute)가 중심이 되어 개발중인 FACTS(Flexible AC Transmission System)는 사이리스터와 고속통신망·컴퓨터를 驅使해서 系統內의 電力 흐름을 세밀하게 제어하여 송전선의 능력을 限界까지 끌어내고자 하는 개념이며 금후 환경문제의 해결책으로서 세계 각처에서 채택되는 경향이 있으며 사이리스터, 光트리지 사이리스터 및 GTO 등 대용량화가 요구되고 있다.

### 2·2 GTO의 高性能化 動向

GTO는 電鐵, 工業用 인버터, 전력제어 등 폭넓은 분야에서의 응용이 기대된다. 電鐵에 응용하는데는 고압이면서 또한 大電流가 요구되므로 진작부터 GTO가 사용되어 輕量·메인テナンス 프리화를 위하여 交流 모터를 VVVF(Variable

Voltage Variable Frequency) 인버터로 제어하는 방식이 정착되어 왔다. 최근에는 電車의 성능향상을 위하여 低스너버·低損失·大電流의 GTO가 요구되고 있으며, 스너버회로의 콘덴서는 이미 6 $\mu$ F로 4.5kV, 4kA의 GTO가 실용화되어 일본의 新幹線을 위시한 외국의 고속전철에 탑재되어 있다. 그러나 현재 GTO의 성능을 응용측면에서 보면 아직도 개선의 여지가 있으며 가일층의 향상이 강하게 요구되고 있다. 주된 課題와 그 대응하는 기술동향을 아래에 간단하게 설명한다.

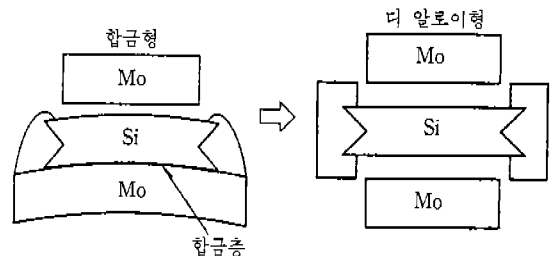
#### (1) 디 알로이화

그림 3에 디 알로이 構造를 표시한다. 실리콘 웨허와 몰리브덴의 熱緩衝板을 合金化하지 않는 (非合金 타입) 방법에 의하여 엘리먼트의 휘어짐을 방지하고 壓接力의 低減이나 熱抵抗의 향상을 꾀하고 있다.

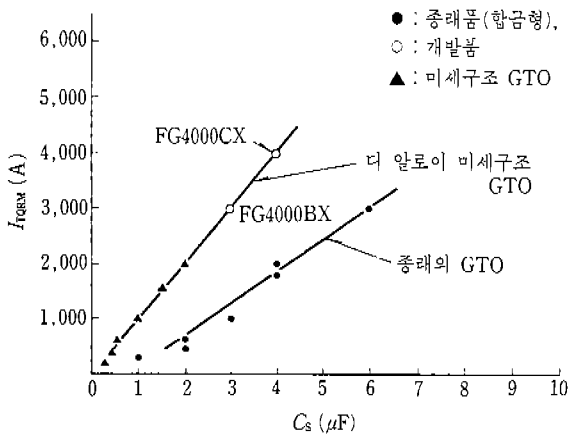
디 알로이 타입과 合金 타입을 4.5kV, 4kA의 GTO로 비교하면 스너버 콘덴서의 低減(17%), On 電壓의 低減(7%), 熱抵抗의 低減(15%), 壓接壓力의 低減(24%) 등 대폭적으로 개선이 도모되었다.

#### (2) 微細化 構造

GTO의 단위 세그먼트를 微細化하는 것으로 턴 오프時的 전류집중을 완화하고 破壞耐量의 향상이나 高速 스위칭화를 도모할 수 있다. GTO를



<그림 3> 디 알로이 구조



<그림 4> GTO의 턴오프 능력

턴 오프할 수 있는 限界電流(可制御 온電流:  $I_{TORM}$ )는 거의 스너버 콘덴서( $C_s$ )의 크기에 의존하여 從來品에서 1,000A당 2 $\mu$ F의 용량을 필요로 했으나 세그먼트를 微細化함에 따라 절반 값인 1 $\mu$ F로 모두 끝내게 되었다. 현재 최고수준의 GTO(FG4000CX-90D)에서는 4 $\mu$ F의  $C_s$ 로 4,000A를 턴 오프할 수 있다.

그림 4에 미세화에 의한 GTO의 턴 오프 능력 관계를 표시한다.

### (3) 大口徑化

그림 5에 사이리스터·GTO의 大口徑化 동향을 나타낸다. 앞절에서 설명한 바와 같이 GTO의 경우도 사이리스터나 光트리지 사이리스터와 같은 FACTS·SVG(Static Var Generator) 등의 전력계통제어나 공업용 대용량 인버터의 분야로부터 강한 요구가 있어 6kV, 6kA의 GTO의 개발이 기대되고 있다.

이것은 단지 大口徑 웨허를 사용한다는 것만이 아니라 먼저 설명한 디 알로이나 微細化 등 신기술의 도입도 불가피하다.

## 3. MOS系 파워 디바이스의 高性能化 動向

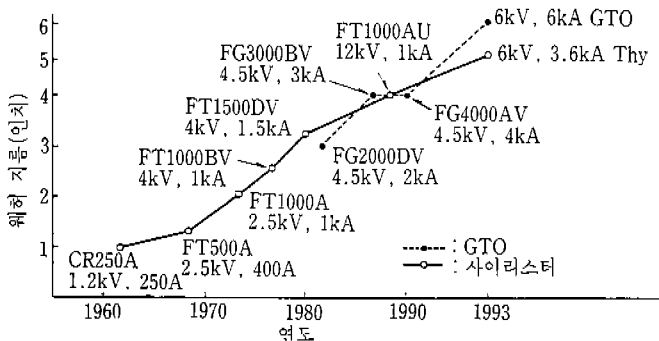
### 3·1 MOSFET와 IGBT

인버터의 고주파화와 小型化 요구에 의해 파워 디바이스에서는 高速 스위칭으로 구동회로의 간소화가 도모되는 MOS 게이트 디바이스가 주목되고 있다.

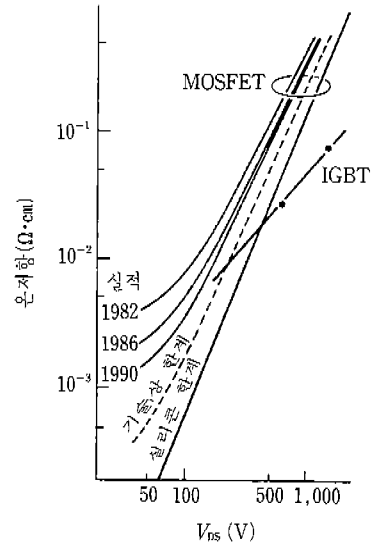
표 1에 각종 파워 디바이스 응용상의 특징을 표시한다. 低電流領域에서는 파워 MOSFET가 벌써부터 스위칭 전원이거나 소형 모터제어 등의 분야에서 많은 실적을 쌓고 있지만 더욱이 온抵抗의 低減이나 高破壞耐景化 등의 개량이 요구되고 있다. 그림 6에 파워 MOSFET의 온抵抗의

<표 1> 파워 디바이스의 응용상의 비교

파워 디바이스의 종류	구동전력	직렬접속	병렬접속	과전류보호	과전압보호	PWM 주파수(인버터)			
						100	1k	10k	100k
GTO	대	○	○	△	○		3k		
바이폴러 트랜지스터	중	×	◎	○	○			10k	
바이폴러 트랜지스터 모듈	중	×	◎	○	○				
MOSFET	소	×	◎	◎	○				500k
MOSFET 모듈	소	×	◎	◎	○				70k
IGBT	소	×	◎	○	◎			20k	
SiTh	소	○	○	△	○				
MCT	소	×	◎	○	△				



<그림 5> 사이리스터, GTO의 대구경화 동향



<그림 6> 파워-MOSFET의 온저항 개선

개선 모양을 표시한다. 實線은 제품화 레벨을 나타낸다. 저압 MOSFET 영역에서는 미세가공기술의 발전에 의해서 셀의 集積化가 진척되어 低온抵抗이 향상되었다. 한편 고압 MOSFET의 경우에는 高耐壓化에 필요한  $n^-$  드리프트층이 큰 比抵抗과 두터운 폭을 가지기 때문에 온抵抗의 低減은 그다지 기대할 수 없다.

IGBT는 고압 MOSFET의 低온抵抗化를 달성하기 위해서 개발되었다. IGBT는 MOSFET와 바이폴러 트랜지스터(BJT)와의 複合素子이며, MOSFET의 드레인側に 다시 P層을 附加함으로써 傳導度變調效果를 도입하고 있다. 이로 인해서 IGBT의 스위칭 스피드는 MOSFET의 그 이상을 上廻할 수가 없다.

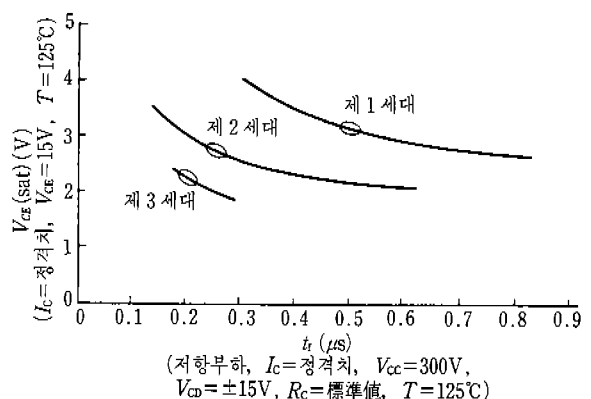
MOSFET와 IGBT의 적용한계를 온抵抗과 내압관계만으로 판단하면 그림 6에서 보는 바와 같이 耐壓 200V 정도가 될 것으로 안다.

### 3·2 IGBT의 트레이드 오프 改善

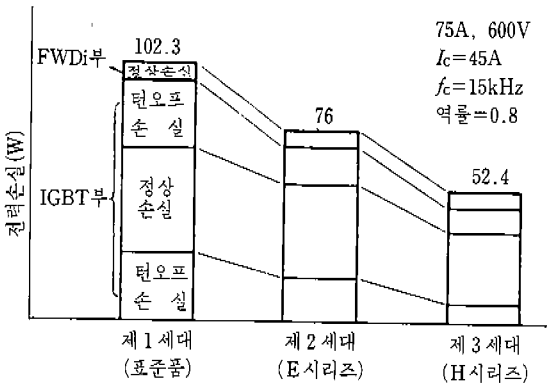
IGBT에는 콜렉터·에미터間 포화전압  $V_{CE(sat)}$ 와 스위칭 시간(특히 下降時間  $t_f$ )와의 사이에 트레이드 오프 관계가 있는 것이 알려져 있다. 인버터의 고주파화에 따라서 인버터의 캐리어 주파수를 종래 BJT의 수 kHz에서 15~20kHz로 고주파화하고 低騒音 인버터를 실현함과 동시에 BJT

정도 이상의 저포화 특성이 요구되고 있다. 이 때문에 그림 7에 표시하는 것과 같은 트레이드 오프의 개선이 대단히 중요하다.

한편 인버터가 고속화하면 프리휠 다이오드(FWD)의 특성도 묵과할 수가 없다. 고주파 및 소프트 리커버리 특성이 요구된다. 또 IGBT가 고속으로 되면 될수록 전류의 역할도 빨라지기 때문에 인버터 主回路의 인덕턴스 및 파워모듈



<그림 7> IGBT 트레이드 오프의 개선



<그림 8> 인버터 응용에 있어서 전력손실 개선

내부의 인덕턴스에도 주의할 필요가 있다. 이상과 같이 FWD나 패키지 인덕턴스도 IGBT의 세대交替와 함께 개선이 진행되고 있다. 인버터를 高速(15kHz)으로 운전했을 때의 IGBT의 파워 로스의 개선을 그림 8에 나타낸다.

제 3 세대에서는 제 2 세대에서의 약 30%, 제 1 세대에서 보면 약 50%의 개선이 도모되었다. 미쓰비시電機에서는 이와 같은 기술혁신을 거듭해서 제 3 세대 IGBT 모듈(H시리즈)을 600V와 1,200V의 耐壓으로 15A에서 600A까지의 시리즈 품 33品種을 제품화하고 있다.

### 3.3 大容量化에의 挑戰

IGBT의 電鐵이나 해외수출품으로서의 인버터(예컨대 캐나다 수출품 AC 575 V라인용)에의 응용이 확대됨에 따라 高耐壓 IGBT의 요구가 높아져가고 있다. 電鐵 응용에서는 DC 1,500V의 架線電壓에 대하여 3레벨 인버터로 1,500~1,700V의 IGBT가 필요하게 된다. 3레벨 인버터의 경우 2레벨 인버터에 비해서 1암당의 素子耐壓을 절반으로 사용할 수 있는 것이 특징이지만 1,500V의 架線電壓에서는 回生電壓 등을 고려하면 素子에는 1,050V 정도의 전압이 印加되는 것이 되기 때문이다. IGBT를 高耐壓化하는 경우 고속 턴오프 특성, 低飽和電壓 특성 및 高破壞耐量을 동시에

얻기는 곤란하지만 미쓰비시電機에서는 縱方向의 프로파일 가드링의 最適設計 및 微細化 프로세스와 시뮬레이션 기술을 구사해서 1,700V, 400A의 IGBT 모듈을 실용화하고 있다.

한편 大容量화에 대해서는 1,200V, 1,000A의 모듈을 大容量 무정전 전원이나 모터제어용으로 개발했다. 大容量화를 위해서는 低인덕턴스의 패키지 기술이 중요한 기술적 과제였다.

### 3.4 新構造 디바이스의 展望

MOS 게이트 디바이스는 低驅動電力, 구동의 용이성 및 고주파 특성을 가지고 있지만 대폭적인 온電壓의 개선에는 사이리스터 동작의 도입이 필요하게 되어 있다. 최근 이와 같은 신구조 디바이스 몇 가지를 다음에 소개한다.

MCT(MOS Controlled Thyristor)는 종래의 사이리스터 정도의 온電壓과 수 kHz에서의 인버터 운전이 가능한 高速 스위칭 특성을 가진다. 특히 高耐壓, 大容量 디바이스에의 기대가 높지만 구동이 복잡하다는 결점도 있다. 현재 2,000V에서 70A/cm<sup>2</sup>의 L 부하차단과 8kV/μs의 dv/dt 耐量을 달성했다는 보고도 있다. EST(Emitter Switched Thyristor)는 온電壓이 1.6V(250A/cm<sup>2</sup>)로 IGBT보다 약간 우수하지만 턴오프 시간은 IGBT와 거의 동등하다.

이외에 BRT(Base Resistance Controlled Thyristor)를 위시해서 가지가지의 MOS 게이트 디바이스에 대한 연구가 진행되고 있어 고성능화의 기대가 높아지고 있다.

## 4. 파워 디바이스의 인텔리전트化的 動向

### 4.1 IPM의 개념

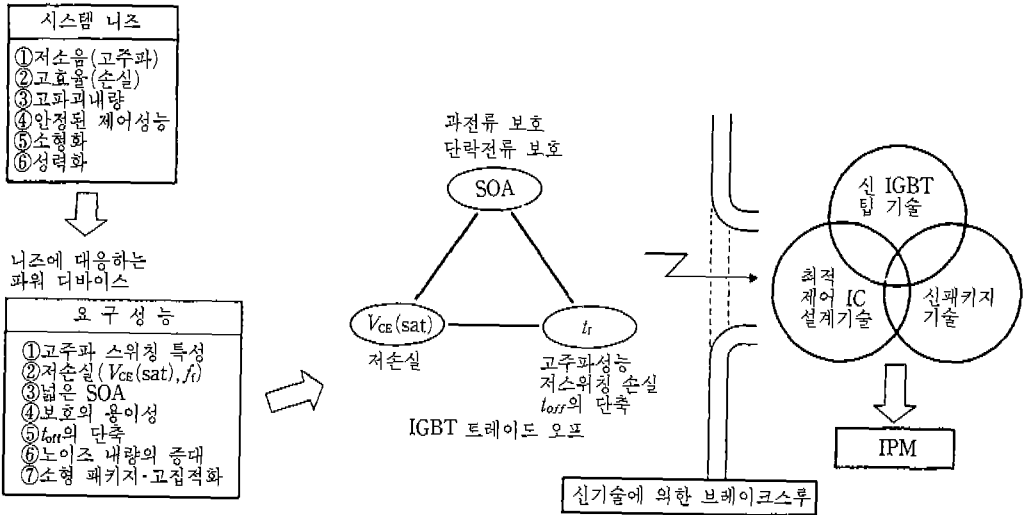
IPM은 종래의 파워 디바이스나 파워 모듈과 비교했을 때 보다 고성능으로, 보다 사용하기 쉽

게, 보다 小型化를 목표로 하여 특히 모터 제어용 인버터 응용에 최적한 설계가 차질없이 짜여져 있다.

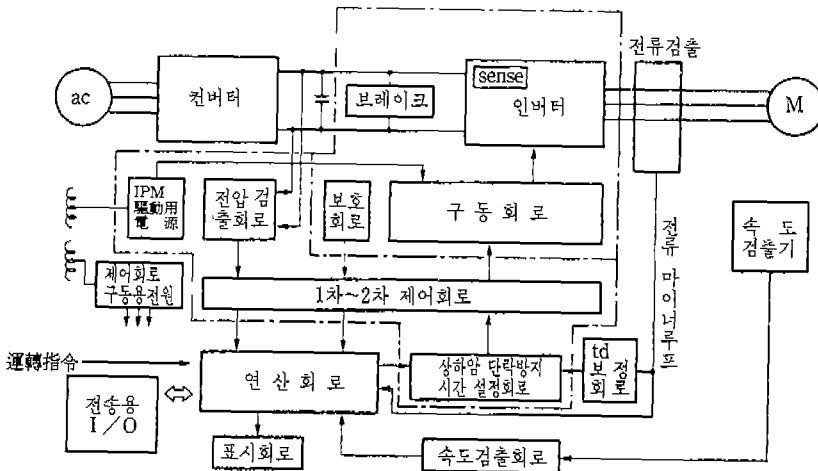
그림 9에 IPM의 개발 콘셉트를 나타낸다. 응용측 니즈에 정확한 것을 알려주기 위하여 파워 디바이스에는 인버터 制御에 적합한 밸런스가 취

해진 특성(IGBT의 SOA 飽和電壓-스위칭 시간의 각 트레이드 오프 최적화·FWD의 소프트리커버리化)이 요구된다.

이와 같이 인버터를 최적상태에서 운전할 수 있도록 IPM용으로 특별히 설계된 IGBT, 이 IGBT를 최적한 상태에서 驅動保護할 수 있도록



<그림 9> 인버터 응용 IPM 콘셉트



<그림 10> 모터 제어 인버터회로 블록도

설계된 전용 IC 및 耐노이즈性, 저지電壓을 고려한 패키지 기술과 융합할 것을 기본으로 한 IPM을 개발하고 있다.

#### 4·2 IPM 現況과 展望

그림10에 인버터 블록도를 표시한다. 인버터의 고성능화·소형화·靜音化를 위하여 파워 디바이스와 LSI의 高集積化의 어프로치가 진행되고 있다. 특히 파워 부분은 파워 디바이스를 최적한 상태에서 구동시키는 것이거나 보호기능을 더욱 증강하는 방향 및 인터페이스 內藏 등 IPM의 고기능화·고집적화의 방향으로 진전되고 있다.

그림11에 IPM 구성 현황을 표시한다. 먼저 인버터부의 IGBT는 과전류·단락전류를 검출할 수 있도록 전류 센스附로 하였다. IGBT 채용에 의하여 구동회로의 간소화와 동시에 구동전력 低減이 도모된다. 각 IGBT 팁 근방에 각각 구동회로와 보호회로가 비치되어 있고 과전류·단락전류·制御電源의 電壓低下 및 加熱에 대한 보호를 설정하고 있다. 보호회로가 동작하면 각각의 시퀀서로 出力을 차단하고 동시에 에러신호를 출력한다. 이 에러信號를 프로세서로 처리하지 않는 한 일정시간후 오토리셋트가 작동, 재동작한다.

현재 미쓰비시電機에서는 AC 220/440V, 0.4~55kW의 모터를 20kHz의 캐리어 주파수로 제어

### 메카트로닉스 용어 해설

#### 산업용 로봇(Industrial Robot)

인간의 상지(팔이나 손)의 동작기능에 유사한 다양한 동작기능을 가지거나 또는 감각기능이나 인식기능을 가지고 자율적으로 행동할 수 있는 기계.

산업용 로봇은 1962년에 미국 AMF사가 「버스트랜」을, 유니메이션사가 「유니메이트」를 개발한 것이 최초다. 일본에서는 1968년에 다른 나라와 기술제휴에 의해 비토소 생산되었고 최근에는 세계 제일의 자동대수를 자랑하고 있다.

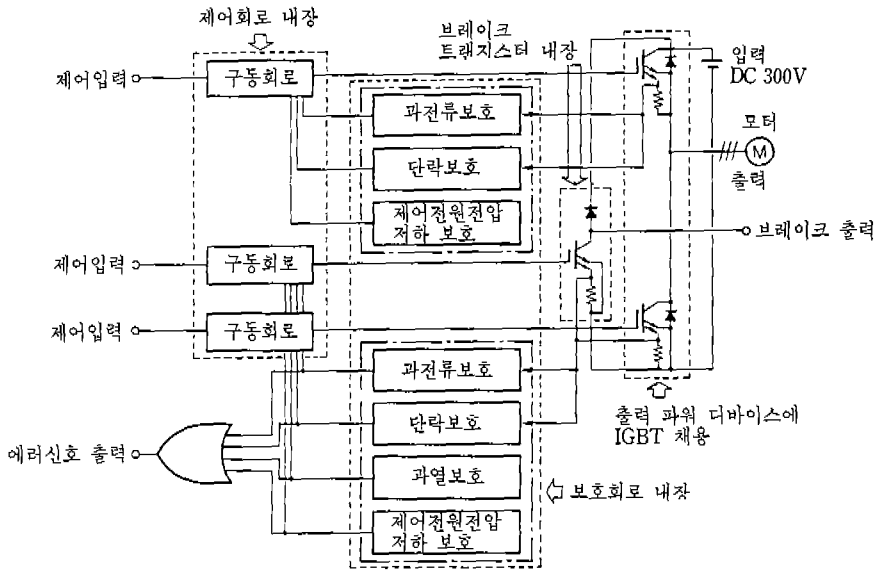
인간의 손, 팔과 같은 동작을 하는 부분이 중심이 되어 여기에 동체부부분이나 검출·제어장치가 붙어서 전체를 구성하고 있다. 고도화된 것은 눈의 동작을 하는 시각기능, 발의 동작을 하는 지주 기능을 갖춘 것도 있다.

산업용 로봇에 대해서는 일본에는 JIS가 있고 1979년에 제정된 JIS B 0341에는 분류 기타 기본적인 사항이 정해져 있다. 예를 들면 입력정보나 교시의 방식에 따라서 분류하면 다음의 6종류가 된다.

- (1) 매뉴얼·머니플레이터: 인간이 조작하는 머니플레이터. 여기서 머니플레이터란, 인간의 상지의 기능에 유사한 기능을 가지고 대상을 공간적으로 이동시키는 것이다.
- (2) 고정 시퀀스·로봇: 미리 설정된 순서와 조건 그리고 위치에 따라서 동작의 각 단계를 순차 진행하는 머니플레이터로서 설정정보의 변경이 쉽지 않는 것.
- (3) 가변 시퀀스·로봇: 미리 설정된 순서와 조건 그리고 위치에 따라서 동작의 각 단계를 순차 진행하는 머니플레이터로서 설정 정보의 변경을 쉽게 할 수 있는 것.
- (4) 플레이 백·로봇: 미리 인간이 머니플레이터를 움직여서 교시함으로써 그 작업의 순서, 위치 그리고 기타 정보를 기억시켜 그것을 필요에 의해서 판독함으로써 그 작업을 하는 머니플레이터.
- (5) 수치제어 로봇: 순서, 위치 그리고 기타 정보를 수치에 의해 지령된 작업을 하는 로봇.  
예: 천공 종이테이프, 카드나 디지털 스위치에 의하는 것.
- (6) 지능 로봇: 감각기능과 인식기능에 의해 행동을 결정할 수 있는 로봇.

이밖의 분류체계도 여러 가지 있고 예를 들면 동작형태에 따라서는 원동좌표 로봇, 극좌표 로봇, 직각좌표 로봇, 다관절 로봇의 4종류로 분류된다. 또 동력원은 전기, 유압, 공기압의 3종류가 있다.





<그림 11> IPM 내부 블록도

할 수 있는 IPM을 量産中이며 더욱이 종래보다 20% 低損失化와 高機能의인 제 3세대 IPM을 개발중이다. 이들 IPM은

- ① 매우 파괴하기 힘들고,
- ② 대부분의 설계요소를 내장했으므로 기술자의 설계·평가시간 단축이 도모되어 제품개발력 강화에 공헌할 수 있으며,
- ③ 주변회로의 내장으로 인해 조립공정의 환경간소화를 꾀하여 靜電對策도 불필요하게 되고,
- ④ 자재부문에서의 관리 코스트 低減에도 공헌할 수 있는 등의 특징을 가진다.

더욱이 미쓰비시電機에서는 IPM의 어셈블리/테스트 라인을 全自動化하고 있으므로 신뢰성 향상도 상당히 기대된다.

금후 IPM은 인버터 등 키 디바이스로서 메인 디바이스의 高性能化와 多機能化·高集積化의 방향으로 진전할 것으로 사료된다.

디바이스의 기술동향에 대하여 概說하였다. MOS계 파워 디바이스의 메인 디바이스로 성장한 IGBT는 이미 제 3세대품이 실용화 단계에 진입하여 더욱 미세화·최적설계가 진행됨으로써 고성능화가 기대되고 있다. 새(新) 디바이스에 대한 연구도 계속 진행되어 MOS 게이트계 파워 디바이스는 종래의 바이폴러 트랜지스터의 영역을 능가할 것으로 생각한다.

인텔리전트화는, 소용량은 파워 IC로, 대용량은 IPM으로의 실용화가 추진될 것이다. 大電力사 이리스터·GTO는 전력계통이나 電鐵市場의 확대에 수반하여 大口徑化가 진전해서 6인치 디바이스를 개발하기에 이르렀다.

이상과 같이 파워 디바이스는 금후에도 파워 엘렉트로닉스의 발전에 공헌을 계속할 것으로 믿는다.

## 5. 맺음말

파워 일렉트로닉스의 키 디바이스로서의 파워

本稿는 日本 三菱電氣(株)의 諒解下에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.