

IGBT/IPM 기술동향 및 전망

김은수*, 김은동**

(한국전기연구소 전력전자연구그룹 선임연구원*, 전력반도체그룹 책임연구원**)

1. IPM의 개요

IPM(Intelligent Power Module)은 IGBT, BJT, MOSFET, FRD, 사이리스터, 트라이악 등의 전력 반도체 소자와 제어회로, 구동회로, 보호회로, 제어전원을 단일 패키지 내에 구성한 것으로써 용도 및 시스템의 요구에 따라서 입출력 전압전류, 제어방식, 형상 및 크기 등이 다양하다.

현재 전력전자분야의 응용장치인 범용 인버터, 수치제어(NC) 공작기계, 산업용 로봇 등은 그 진보와 함께 고효율, 소형화 등을 요구하고 있다. 장치의 고기능화, 소형화 요구에 대해서 IGBT는 저손실화는 물론 구동회로 및 각종 보호회로 등의 주변회로를 모듈 패키지 내에 실장 하는 인텔리전트화를 통해, 주변회로 및 부품의 수를 줄이고, 시스템의 설계기간을 단축시키는 IPM(Intelligent Power Module)으로 진행되고 있다. 이러한 현상은 산업용은 물론 일반 가정용에서도 나타나고 있으며, 일본의 경우 에어컨 시장의 85% 이상이 이미 인버터화로 되었고 그 대부분은 IPM 패키지가 사용되고 있다. 국내의 경우, 대기업 계열의 가전회사에서 현재 IPM을 채용한 에어컨을 연구 개발 중에 있으며, 일부시제품을 출하하고 있지만 인버터화 비율은 아직도 극히 낮은 실정이다. 그러나 향후 그 수요는 폭발적으로 증가될 것으로 예상되고 있다.

제조 기술적인 측면에서 IPM은 회로 설계 기술에서 반도체 패키징 기술, 평가기술 등이 모두 집적된 제품으로 고전력용 반도체 패키징 기술의 종착점이라 보아도 무방할 것이다.

IPM 개발초기에는 종래의 전력소자 모듈에 단순히 구동회로나 보호회로를 삽입한 것으로써 주 소자로는 BJT, MOSFET를 이용하고 제어부에는 후막 IC를 사용해 왔다. 최근 들어서는 IGBT, MOSFET 소자 및 전용 IC를 내장한 것이 주류를 이루고 있다. 이것은 단순히 제어회로 등을 하나

의 모듈 내에 내장하는 것이 아니라, 시스템, 소자, 제어 및 보호기능을 종합적으로 고려한 최적설계를 요구하고 있다. 따라서, 시스템 측면에서 필요한 저소음(교주파화), 고효율(저손실), 평활도(Ruggedness), 안정된 제어, 소형 및 경량화, 설계 및 조립의 용이성 등을 고려하고, 스위칭 소자 측면에서는 개별소자로 사용할 때와 구별되는 고속 스위칭, 저손실, SOA(Safe Operating Area)에 대한 최적의 trade-off 설계, 적절한 보호대책, 짧은 toff, 높은 노이즈 안정성, 소형 및 경량화(높은 집적도)를 만족하도록 설계해야 한다. 또한 전력 소자를 최적상태에서 구동·보호할 수 있는 전용 IC를 채용하고, 최종적으로 내 잡음, 서지 전압, 방열특성, 크기 등을 고려한 고집적 패키지 기술이 필요하다.

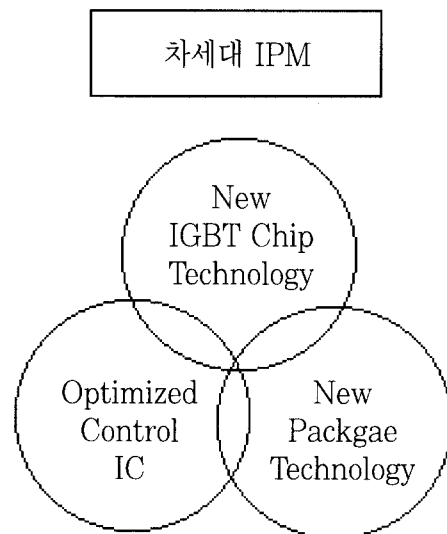


그림 1 IPM의 개발 개념

2. 기술개발 동향

현재 IPM에 주로 이용되는 소자는 전압구동형으로 구동이 쉽고 스위칭 속도가 빠르며, 고내압화가 가능한 IGBT(혹은 MOSFET) 소자가 주 대상이 되고 있다. 지금까지 개발된 IPM은 소위 3세대 제품으로 제 3세대 IGBT를 채용한 10-600A/600V, 10-600A/1200V급까지 보고되고 있다.

표 1에 현재까지 개발된 제 3세대 IPM의 사양을 나타냈다. 제 2세대 IPM에서 3세대 IPM으로 진행되면서 손실, 스위칭 속도, 소음대책 및 단락보호기능 등이 대폭 향상되었으며, 일반적으로 손실은 20-30% 정도 감소되었다고 보고되고 있다.

따라서, IPM이 더욱더 소형화, 고성능, 고집적화가 됨으로써 시스템의 대폭적인 소형, 경량화가 가능해졌다.

주요 전력 반도체 제조업체에서 진행되고 있는 주요 IPM 기술개발 분야는 시스템의 요구에 맞는 IGBT 소자의 개발, 소자의 보호 및 손실을 줄이기 위한 FWD(Free Wheel Diode)의 개발, 제어 및 보호회로의 개발, 특성이 우수한 패키지 개발 등이다.

IPM에 사용되는 전력소자에서는 1) t_r 에 의한 스위칭 손실과 $V_{CE}(sat)$ 에 의한 on-state 손실과 trade-off를 통한 최적화, 2) 제공된 제어 IC가 소자를 충분히 보호하도록 알맞는 SOA 영역의 확보, 3) 적절한 전류감지 셀의 설계 등이 요구되고 있다.

표 1 제 3세대 IPM의 사양(IGBT 채용)

IPM 정격		Motor 정격(kW)	출력특성	내장기능				
V	A			Drive	OC	SC	UV	OT
600	10	0.4	단상 및 삼상 220V	○	○	○	○	○
	50	3.7		○	○	○	○	○
	100	11		○	○	○	○	○
	200	22		○	○	○	○	○
	300	30		○	○	○	○	○
	400	37		○	○	○	○	○
1200	600	45/55	○	○	○	○	○	
	10	1.5	단상 및 삼상 220V	○	○	○	○	○
	50	7.5		○	○	○	○	○
	100	22		○	○	○	○	○
	200	35		○	○	○	○	○
	300	45/55		○	○	○	○	○
400	75	○		○	○	○	○	
600	110	○	○	○	○	○		

주) OC: Over Current protection SC: Short Circuit protection
UV: Under Voltage protection OT: Over Temperature protection

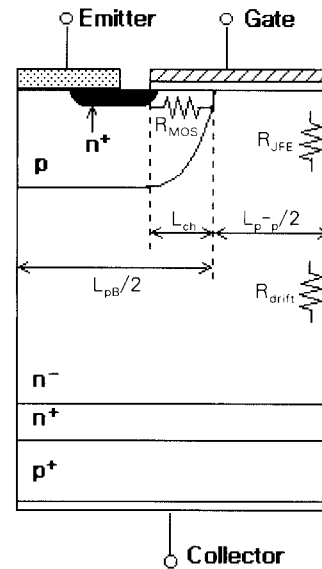


그림 2 IGBT 칩 평면도

표 2 IGBT 칩 구조비교(상대비)

	L_{ch}	L_{pB}	L_{p-p}
2세대 Cell	1.0	1.0	1.0
3세대 Cell	0.5	0.5	0.9

그림 2와 표 2에 나타낸바와 같이, 제 3세대 IPM에서 사용되는 IGBT 소자의 경우, $V_{CE}(sat)$ 은 컬렉터 측의 p', n' 접합의 다이오드 영역에서 형성되는 순방향 전압강하 V_F (= 0.6V), 다수 캐리어 주입시에 n-드리프트 영역의 전압강하 V_{drift} , J-FET 영역의 V_{JFET} 및 MOSFET 영역의 전압강하 V_{MOS} 로 이루어진다. 따라서 IGBT의 $V_{CE}(sat)$ 를 줄이기 위해서는 V_{JFET} 및 V_{MOS} 를 감소시키는 것이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 1) 인접하는 p-베이스 사이의 거리 L_{p-p} 와 p-베이스 깊이를 최적화 하는 것이 필요하고, 2) 채널저항 R_{MOS} 를 줄이기 위해서 p-베이스의 도핑농도를 얇게 하여 채널길이 L_{ch} 를 줄이는 방법, 3) 단위셀을 설계할 때 미세 패터닝으로 단위면적당의 채널 폭을 증가시키고, 4) 캐리어 수명제어로 턴-오프 손실과의 최적화를 이루는 방법 등이 시도되고 있다.

현재까지 개발된 3세대 IGBT 소자와는 별도로 제 4세대 IGBT의 개발도 활발히 진행되고 있다. 제 3세대 IGBT의 설계기준이 3 μm 선 폭인데 대하여 제 4세대 제품은 1 μm 선 폭을 목표로 하고 있으며, $V_{CE}(sat)$ 는 현재의 2.0V에서 1.5V로 낮아질 것으로 예상된다.

FRD(Free Wheel Diode)는 대전력, 고주파 동작 시에 소자의 턴-온 손실과 서지전압에 큰 영향을 미친다. 이러한 영향을 줄이기 위해서 FWD는 고속 스위칭 및 소프트 역회복특성이 요구된다. 소프트 역회복 특성을 갖는 FWD를 사용했을 경우에 IGBT 소자는 출력전류의 급격한 기울기 및 진동이 현저히 감소하게 된다. 따라서 FWD의 특성에 의해서 소자의 스위칭 손실과 di/dt, dv/dt 특성이 영향을 받게 된다. FWD는 역회복 전류 및 역회복 전하량을 줄이는 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 특히 p-n 접합에서 애노드 p-영역의 도핑구조를 주의해서 설계해야 한다.

한편 전력소자를 최적으로 제어하고 보호하기 위해서는 전용의 제어 IC, 구동회로, 실시간 제어회로(Real Time Control Circuit, RTC) 등의 개발이 필요하다. 제어 및 보호회로는 기본적으로 다음과 같은 기능 및 특성에 맞추어 개발이 진행되고 있다.

- 1) 15V의 전압으로 구동이 가능할 것
- 2) 현재의 IGBT에서는 Turn-off 또는 Off-state에서 역 바이어스가 불필요함
- 3) 고속형 Opto-coupler와 인터페이싱(Interfacing)이 가능한 적절한 입력논리 방식이 필요함
- 4) 출력단 소자에 대한 과전류, 단락보호, 자동 Reset 및 Flag-output 기능
- 5) 구동전원의 under-voltage 보호, 자동 Reset 및 Flag-output 기능
- 6) 모듈에 대한 과열보호, 자동 Reset 및 Flag-output 기능
- 7) 노이즈 대책
- 8) 100°C 까지의 동작온도 보장

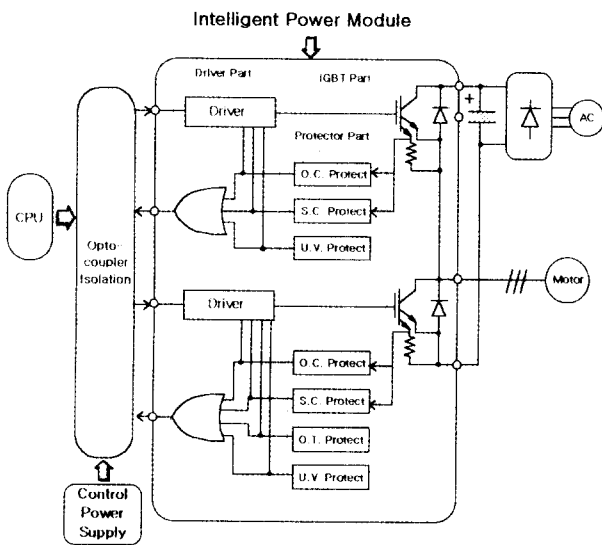


그림 3 IPM의 기능구성도

IPM의 패키지 및 내부 단자구조는 용도 및 제조회사에 따라 다르므로 각각의 특성에 적합하고, 방열특성이 우수하며 노이즈 및 서지(Surge)를 최소화 하도록 설계해야 한다. IPM에서 요구되는 패키지는 다음과 같은 특성을 만족하도록 개발되고 있다.

- 1) 전력소자에서 발생하는 열을 효과적으로 방출할 수 있어야 함
- 2) 제어 및 보호회로에 대한 노이즈 안정성
- 3) 모듈 패키지의 전극 인출부에서 발생하는 인덕턴스 성분이 작을 것
- 4) 시스템의 소형, 경량화를 위해서 패키지의 크기가 작을 것

이에 따라서 DBC(Direct Bonding Copper) 세라믹 기판이 전력소자를 탑재하는 패키지용 기판재료로 각광을 받고 있으며, 제어 및 보호회로는 분리된 PCB 기판에 탑재되고 있다. 특히 종래의 모듈에 사용하던 알루미늄(Al_2O_3)-DBC 기판보다 방열특성이 우수한 질화 알루미늄(AlN)-DBC 기판이 사용되고 있다. 또한 내부전극의 인덕턴스 성분에 의해서 Turn-off 시에 발생하는 서지전압을 줄이기 위한 내부전극 설계기술이 요구된다.

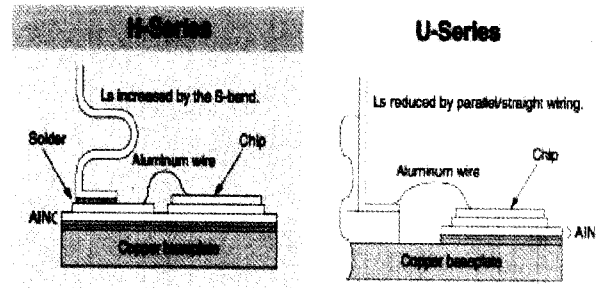


그림 4 New Package Technology (Mitsubishi U-Series IGBT Module)

3. 응용분야

표 3에 IPM의 주요 응용분야를 표시했다. 응용분야는 개별 소자 및 모듈형 IGBT 또는 MOSFET의 응용분야와 경쟁할 것으로 예상된다. 그러므로 시스템의 사양, 조립의 간편성, 시스템 제조회사의 특성 및 기술, 가격요인 등에 의해서 지능형 반도체 모듈의 사용여부가 결정될 것이다.

4. 세계 시장규모 및 전망

국내 반도체 산업은 메모리 소자 중심의 연구개발, 생산 및 지원이 이루어져 왔기 때문에 이 분야에서는 선진국 수준의

표 3 IPM의 응용분야

응용장치	적용되는 소자의 정격	응용회로(제어) 방식	제어대상(목적, 부하)
Induction Heating, 주방기기	10-60A 900V	전압공진형 인버터회로	가열 코일의 고주파 전류 제어
엘리베이터	50-800A 600-1200V	인버터회로	AC 모터의 속도제어
공조장치(에어콘)	10-300A 600-1200V	인버터회로	컴프레서·모터 (AC, DC brushless)의 회전수 제어
조명기기 로보트, AC서보·컨트롤러	3-300A 600V	인버터, AC 서보제어	AC 모터의 속도, 토크, 위치제어, 조명
NC 공작기계	10-600A 600V	AC 서보제어	AC 모터의 속도, 토크, 위치제어
크레인, 호이스트, 벨트, 콘베어	10-600A 600-1200V	인버터회로	AC 모터의 속도, 토크제어
압연기, 공작용 대형 인버터, 사이크로콘버터	300-1000A 1200V	인버터회로	AC 모터의 속도제어
전기자동차	300-800A 600V	인버터회로	AC 모터의 속도제어
지게차, 콜프 가이드	200-600A 250V	초퍼회로	DC 모터의 속도제어
지하철, 철도차량	600-1000A 1200-1700V	인버터회로	AC 모터의 속도제어
신 에너지 (풍력, 발전, 태양광 발전 등)	600-1000A 1200-1400V	인버터회로, 콘버터회로	주파수의 안정, 상용주파수의 동기 및 전압의 안정

표 4 전력용 반도체 소자의 세계시장 규모

(단위 : 10억불)

구 분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	년 평균 성장률(%)
Bipolar	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	5
MOSFET	3.0	3.5	4.2	5.0	6.0	7.1	18.8
IGBT	1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	4.2	33.3
다이오드	3.0	3.2	3.5	3.8	4.1	4.5	8.4
Thyristor	1.1	1.3	1.2	1.6	1.9	2.1	14
Power IC	1.3	1.6	2.0	2.5	3.0	3.7	23
IPM	1.3	1.8	2.8	4.4	5.7	7.4	40
합 계	12.8	15.0	18.0	22.1	26.4	31.7	20.3

기술 및 생산량을 확보하고 있으며, 세계적으로도 기술을 이끌어 나가는 입장에 있다. 반면에 비 메모리 분야의 하나인 개별소자는 어느 정도 정부 및 관련기관의 관심은 있었지만 종합적이고 체계적인 연구개발 프로그램의 미흡으로 세계수준과는 기술력, 인력 등이 상당한 격차를 보이고 있으며, 현재 이 분야의 제품은 거의 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 전력용 반도체는 반도체 전체 시장규모의 8-10%를 차지하고 있으며, 세계시장규모는 표 4 및 그림 5와 같다. 표 4

에 나타난 것처럼 IGBT, MOSFET, 파워 IC 및 IPM이 전력용 반도체 시장의 성장률을 주도하고 있다. 특히 전력용 반도체 기술이 개별소자에서 아날로그 및 디지털 회로를 결합한 IPM 및 스마트 파워 IC로 빠르게 진행되고 있기 때문에 가전 및 산업 기기에서 이들의 채용이 가속화 될 것으로 전망된다.

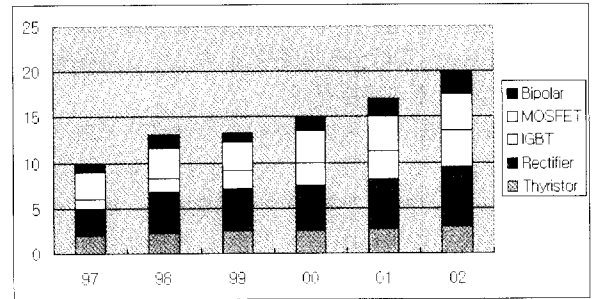


그림 5 개별 전력용 반도체 소자 시장규모(단위: 10억불)

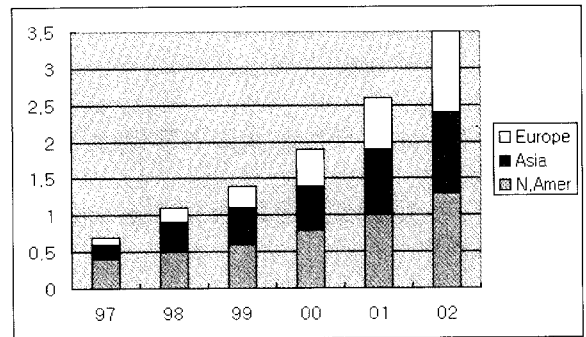


그림 6 지역에 따른 연도별 시장규모 (100A 이하 IGBT, 10억불)

그림 6에 나타난 것처럼 100A 이하의 IGBT 시장을 예로 들면, 세계적으로는 2002년까지 35.6%의 고속 성장이 예상되고, 상대적으로 유럽의 성장이 다른 지역에 비해서 낮은 것을 알 수 있다. 이것은 유럽지역의 전력용 반도체 시장이 이미 어느 정도 성숙되어 있기 때문에 아시아 및 북미 지역에 비해서 낮은 성장률을 나타내고 있다. 하지만, 유럽의 성장률은 느리지만 2002년까지는 전체적인 규모 면에서 아시아나 북미 지역보다는 큰 시장을 형성할 것으로 예상된다.

5. 결 론

시스템의 신뢰도 향상, 조립 및 유지보수의 간편성, 시스템의 소형화 및 경량화 추구, 무소음화, 고효율화 등의 필요성

에 따라 전력용 반도체소자인 IGBT/IPM의 전력용 반도체 연구개발 추세는 소자의 대용량화(고내압, 대전류), 고주파화 및 저손실화 추구하고 함께 제어 및 보호회로를 내장하는 인텔리전트화 - Intelligent Power Module(IPM) 및 스마트 파워 IC화되고 있다.

이러한, 지능형 전력용 반도체 소자에는 소비전력 25W급 이상의 중용량 및 대용량 소자는 하이브리드 방식인 Intelligent Power Module(IPM)로, 소용량에서는 모노리틱 방식인 스마트 파워 IC로 연구개발이 진행되고 있다. 따라서 세계시장도 이러한 추세에 맞추어서 진행될 것으로 예상된다. ■

참고 문헌

- [1] S. Yoshida, Y. Yu, H. Yamaguchi, E. Thal, "3rd Generation High Performance Intelligent Power Module", Power Conversion, pp. 247~256, 1993. 6.
- [2] G. Majumdar, K.H. Hussein, E. Thal, G. Debled, T. Octa, F. Tametani, "Evolution of Application Specific IPM", EPE'97, pp.1.210~1.215, 1997.
- [3] "IGBT Modules, $\geq 100A$ Worldwide Market Statistics and Trends", The Darnell Group Report, 1996. 5.
- [4] "Thyristor, GTOs, IGBTs, MOSFETs&FREDs Emerging Application Segments, Market Penetration Strategies and Competitive Environment in North America", Darnell Group Report, 1999. 1.

< 저 자 소 개 >



김은수(金恩洙)

1964년 3월 26일생. 1986년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989-현재 한국전기연구소 산업전기연구단, 전력전자연구그룹 선임연구원, T/L.



김은동(金垠東)

1958년 12월 5일생. 1980년 부산대 재료공학과 졸업. 1982년 동 대학원 졸업(석사). 1985년 한국과학기술원 전자재료공학과 졸업(공학박). 1986-현재 한국전기연구소 산업전기연구단, 전력반도체 연구그룹 책임연구원, 그룹장.