

BID-IPM 개발에 관한 연구

오 필 경*, 연 재 을*, 김 희 준**, 박 민 희***, 안 성 윤***
 한양대 전자전기제어계측공학*, 한양대 전자컴퓨터공학부**, 화인SPN(주) 기술연구소***

A study on the development of BID-IPM

Pil Kyoung Oh*, Jae Eul Yeon*, Hee Jun Kim**, Min Hee Park***, Sung Yun An***
 Dept. of Electronic & Electrical & Control & Instrumental Engineering Hanyang Univ.*
 School of Electrical Engineering & Computer Science Hanyang Univ.**
 Fine SPN. Ltd R&D Center***

Abstract - For low power motor control, there are increasing demands for compactness, cost effective and built in many functions. Hence Intelligent Power Module(IPM) is considered as an important technology in inverter-driven motor applications.

Regarding BID-IPM(Built In DC/DC converter, Intelligent Power Module) newly developed to integrate NPT-IGBT, HVIC and Flyback converter in a compact package, this paper discussed design of BID-IPM and presented the experimental results by using signal source board and equivalent load test board.

1. 서 론

최근 소형 모터의 구동 및 제어를 위한 인버터는 소형, 고 신뢰성, 저 소비전력, 저가, 다기능성 등 가격 및 품질과 관련된 사항을 필수로 요구하고 있다. 이런 이유로 Intelligent Power Module(IPM) 기술은 인버터 구동 소형 모터에서 중요하게 여겨지고 있다.^[1]

BID-IPM(Built-In DC/DC Converter, Intelligent Power Module)은 모터구동 및 제어를 위한 인버터의 핵심 부품으로 NPT-IGBT, HVIC 및 구동전원을 공급을 위한 Flyback converter를 Module로 구현한 제품으로 각각의 기능을 갖춘 부품을 반도체 패키징 기술을 통해 Compact한 Package내에 집적함으로써 소형 모터 구동에 적합하도록 개발되었다.

본 논문에서는 600V/10A의 NPT-IGBT를 사용한 Inverter부, HVIC를 사용한 구동부, DC 5V, 15V, 24V 출력을 갖는 Flyback converter가 적용된 전원부로 구성된 BID-IPM의 설계와 CPLD를 활용한 신호원과 인버터 등가부하로 구성된 Test Board로 각 부의 정상동작여부 및 BID-IPM의 안정적인 동작을 실험결과를 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 BID-IPM

2.1.1 NPT-IGBT

소형모터의 Inverter를 구성함에 있어 IGBT의 선택은 Inverter 성능에 중요한 사항이다. BID-IPM의 Inverter 부는 Motor Application에 적합한 Non Punch Through type의 IGBT를 적용하였다.

PT-IGBT는 MOSFET에 비해 전류밀도가 높고 conduction loss가 적지만 turn off시 tail current로 인해 loss가 증가하여 switching frequency에 제한을 받는 단점이 있다.

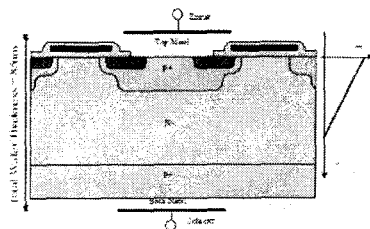


그림1. NPT IGBT의 구조

NPT-IGBT는 그림1과 같이 PT-IGBT와는 달리 n^+ buffer층이 없어 얇아졌으며 lightly doped collector를 사용하여 빠른 switching으로 turn off loss를 감소시켰고 positive temperature coefficient에 의해 병렬구조에 유리하게 되었다.^[2]

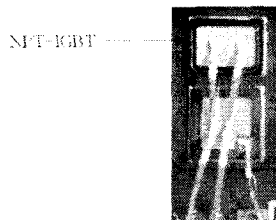


그림2. NPT-IGBT Die

그림2는 IR社의 600V/10A NPT-IGBT Die로 3.3×3.3 [mm] size와 85[μm] 두께로 되어있으며 Gate는 직경 6 mil, Emitter는 12mil의 Aluminium wire를 사용하여 결선하였다.

NPT-IGBT와 Fast Recovery Diode(FRD)의 Electrical characteristics test(ECT)를 시행한 결과를 표1과 그림3에 나타내었다.

NPT-IGBT와 Aluminium wire의 신뢰성은 통전시험을 통해 검증하였다. Motor application에 적용되는 IGBT는 10us의 short circuit capability의 정격을 가져야 하며 보통 12mil aluminium wire는 10A의 전류 정격을 갖고 있으므로 통전시험은 worst case를 고려하여 Tc=25℃에서 25sec동안 10A를 통전시켜 전류특성에 대한 신뢰도를 확보하였다. 그림4는 통전시험에 대한 파형을 보여준다.

표1. IGBT와 FRD의 ECT 측정값

parameter	condition	Data sheet	측정결과
Iges	Tj=25℃, Vge=20V	1.1uAmax	35nA
Ices	Tj=25℃, Vce=600V	10uAmax	300nA
Vth	Vge=Vce, Tj=25℃, Ic=250uA	3.5Vmin, 5.5Vmax	4.5V
V(BR)CES	Tj=25℃, Ices=250uA, Vge=0V	600Vmin	700V
Vrrm	Tj=25℃, Irrm=100uA	600Vmin	700V
Vf	Tj=25℃, If=250uA	-	0.35V

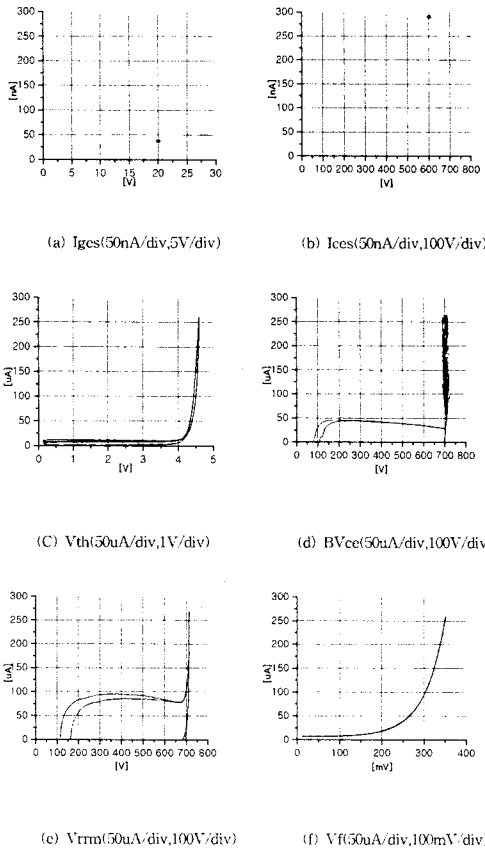


그림3. IGBT와 FRD의 ECT 결과

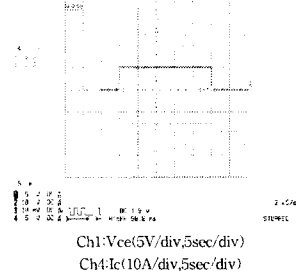


그림4. 통전시험결과

2.1.2 HVIC

3상 구동을 위해 각각 6개 IGBT의 gate drive는 high voltage gate driver IC를 사용하였다. HVIC는 구동회로를 간단하게 구성할 수 있고 negative bias없이 IGBT의 구동을 가능하게 한다. 이를 위해서는 bootstrap capacitor, resistor, diode의 용량 결정이 중요하다.^[1]

BID-IPM의 HVIC는 IR社의 600V offset 전압과 출력 전류가 sink current=120mA, source current= 250mA인 monolithic driver IC 3개를 사용하여 U, V, W상의 high side와 low side IGBT를 구동하였다.

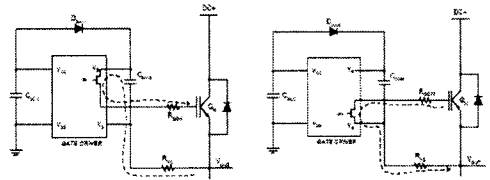


그림5. Gate turn on and turn off

그림5는 HVIC의 gate turn on/off시의 전류 path를 나타낸다. bootstrap capacitor에 charging된 전류는 turn on시 high side IGBT의 gate로 공급되며 turn off시 IC의 Vs path로 흘러간다. boost capacitor의 용량은 식(1)을 통해서 산출할 수 있다.^[3,4]

$$C \geq \frac{2[2Q_g + \frac{I_{ds(max)}t_{on}}{f} + Q_{ix} + \frac{I_{ds(max)}t_{off}}{f}]}{V_{ce} - V_f - V_{Ls} - V_{Lk}} \quad (1)$$

실제로 제작된 Gate driver는 아래의 그림6과 같다. 그림7은 U, V, W상의 출력파형으로 5kHz의 주기주 Pulse width 90us의 입력에 대해 정상동작하고 있음을 알 수 있다.



그림6. HVIC를 적용한 gate driver

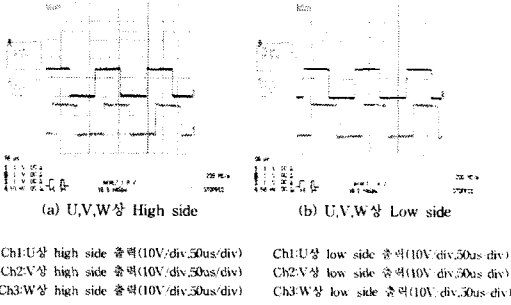


그림7. Gate driver 출력결과

2.1.3 Flyback converter

DC 240-380V를 입력 전원으로 하는 스위칭 전원 공급 장치의 방식에는 여러 가지가 있지만 출력이 50W 이하의 소형의 것에는 Flyback Converter 방식이 현재 가장 많이 사용되고 있다. 이 컨버터의 트랜스포머는 절연과 출력전압 크기조절의 역할 뿐 아니라 자하인덕턴스에 의한 필터의 역할도 겸하고 있다. 따라서 경제적인 면에서 고려할 때 실제 응용에 많이 사용되는 컨버터 회로이기에 선정하게 되었다.^[5]

표2와 같이 단상 및 삼상 입력에 따른 입력전압 범위와 gate driver의 구동전원 및 외부에 장착되는 DSP와 analog and digital interface, line driver, opto-coupler 등의 전원을 공급하기 위해 5V, 15V, 24V의 출력을 갖도록 설계되었다. 그림8은 실제 제작된 Flyback converter의 모습을 보여준다.

표2. Flyback converter 사양

구분	내용			비고
회로방식	FLYBACK CONVERTER			regulation 1%
입력 전압 범위	240-380 [V _{ac}]			
정격 출력 전압	24 [V _{ac}]	15 [V _{ac}]	5 [V _{ac}]	
정격 출력 전류	104 [mA]	33 [mA]	200 [mA]	
정격 출력 전력	2.5 [W]	0.5 [W]	1 [W]	
스위칭 주파수	최고 140 [kHz]			

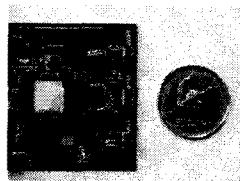


그림8. Flyback converter on board

표3과 표4의 cross regulation 및 동일한 부하에 따른 regulation 시험결과, 약1% 이하의 regulation 특성으로 설계사양과 동일함을 확인할 수 있다.

표3. Cross Regulation 시험결과

부하전압	목소입력(200W)			중과입력(300W)			최대입력(500W)			Line Regulation(%)		
	5V	15V	24V	5V	15V	24V	5V	15V	24V	5V	15V	24V
0%	4.983	15.128	24.482	4.979	15.126	24.489	4.980	15.126	24.477	0.08	0.01	0.04
	4.983	15.128	24.457	4.981	15.127	24.446	4.980	15.127	24.446	0.08	0.006	0.08
	4.983	15.128	24.419	4.981	15.127	24.427	4.981	15.127	24.427	0.04	0.006	0.08
	4.984	15.128	24.373	4.981	15.128	24.346	4.981	15.128	24.345	0.08	0	0.1
	4.984	15.128	24.336	4.981	15.128	24.317	4.981	15.128	24.335	0.08	0	0.1
	4.984	15.128	24.295	4.982	15.128	24.271	4.981	15.128	24.289	0.08	0.006	0.04
20%	4.984	15.132	24.510	4.982	15.128	24.510	4.982	15.128	24.510	0.04	0.02	0.1
	4.984	15.130	24.509	4.982	15.129	24.510	4.982	15.128	24.494	0.04	0.01	0.1
	4.984	15.131	24.489	4.982	15.129	24.479	4.982	15.128	24.475	0.04	0.01	0.05
	4.984	15.131	24.489	4.982	15.130	24.484	4.982	15.130	24.459	0.04	0.006	0.1
	4.984	15.131	24.458	4.982	15.130	24.442	4.982	15.131	24.456	0.04	0.006	0.08
	4.984	15.131	24.413	4.982	15.131	24.386	4.982	15.131	24.454	0.04	0.006	0.2
40%	4.984	15.129	24.551	4.982	15.132	24.528	4.982	15.130	24.521	0.04	0.02	0.02
	4.984	15.129	24.495	4.982	15.131	24.510	4.982	15.130	24.513	0.04	0.01	0.08
	4.984	15.129	24.421	4.982	15.131	24.428	4.983	15.129	24.409	0.04	0.006	0.08
	4.984	15.129	24.379	4.983	15.130	24.432	4.982	15.129	24.397	0.08	0.006	0.29
	4.985	15.130	24.336	4.984	15.130	24.388	4.983	15.130	24.355	0.06	0	0.25
	4.984	15.130	24.227	4.984	15.130	24.289	4.984	15.130	24.226	0	0	0.38
Load Regulation (%)	0.08	0.01	0.03	0.1	0.03	0.05	0.08	0.02	1.17			

F1 : 24V 부하(200W), 나비부하에 부하
 F2 : 24V 부하(300W), 나비부하에 부하
 F3 : 24V 부하(500W), 나비부하에 부하

표4. Regulation 시험결과

부하전압	목소입력(200W)			중과입력(300W)			최대입력(500W)			Line Regulation(%)		
	5V	15V	24V	5V	15V	24V	5V	15V	24V	5V	15V	24V
0%	4.984	15.129	24.458	4.983	15.129	24.508	4.984	15.131	24.610	0.02	0.01	0.25
20%	4.983	15.130	24.450	4.983	15.130	24.476	4.983	15.130	24.480	0	0	0.18
40%	4.984	15.130	24.461	4.983	15.130	24.391	4.983	15.131	24.368	0.02	0.006	0.08
60%	4.985	15.130	24.351	4.984	15.130	24.303	4.984	15.131	24.320	0.02	0.006	0.187
80%	4.984	15.131	24.345	4.984	15.131	24.300	4.984	15.131	24.288	0.02	0	0.23
100%	4.984	15.131	24.317	4.984	15.131	24.282	4.983	15.131	24.300	0.02	0	0.22
Load Regulation (%)	0.04	0.01	0.05	0.02	0.01	1.23	0.02	0.006	1.3			

F1 : 24V, 50% 부하 (동일부하에 부하)

2.2 BID-IPM의 제작 및 시험

2.2.1 BID-IPM, DUT 및 Signal Board 제작

각각 6개의 NPT-IGBT inverter, HVIC를 사용한 gate driver, Flyback converter를 stack 구조로 결합하여 가로 110 x 세로 52 x 높이 15[mm]의 BID-IPM으로 구성하였다. 그림9는 완성된 BID-IPM의 모습을 보여준다.

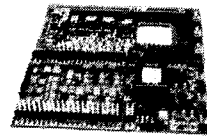


그림9. 완성된 BID-IPM

완성된 BID-IPM의 시험은 signal board와 equivalent load를 사용한 DUT(Device Under Test) board를 통해 시험하였다. signal board의 CPLD는 Altera社의 EPM570T144C5N을 사용하였고 출력이 3.3V이므로 이를 5V로 변환하기 위하여 출력쪽에 IDT社의 74FCT164245T를 사용하였다. CPLD내부는 clock 조절부와 주기조절을 위한 2개의 counter 그리고 입력파형을 shift해주는 5개

의 shift로 구성되어 있으며 외부의 덤 스위치를 사용하여 주기 및 펄스폭을 변경할 수 있도록 하였다.

DUT board는 440uH의 inductor를 병렬로 연결하여 U, V, W 각 상의 출력에 연결되도록 하였다. 또한 NPT-IGBT inverter의 DC Link 입력과 Flyback converter의 입력을 별도로 구성하여 test에 대한 유연성 및 안정성을 고려하였다.

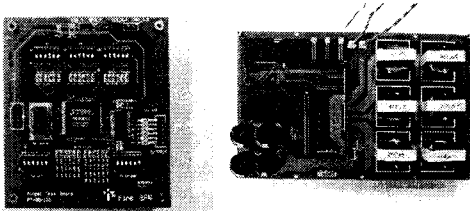
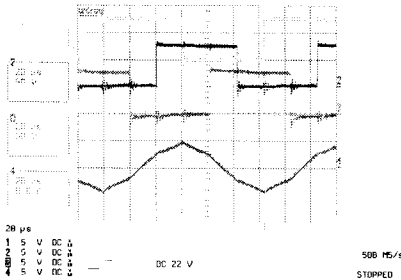


그림10. Signal board와 DUT board

2.2.2 BID-IPM 시험결과

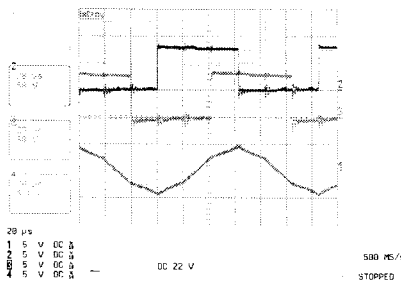
그림10의 signal board와 DUT board를 이용하여 BID-IPM의 정상동작여부를 시험한 결과를 그림11, 그림12, 그림13에 나타내었다.

각 상의 전압 및 전류파형을 측정함으로써 제품의 불량유무, 동작의 안정성을 판단할 수 있었다.



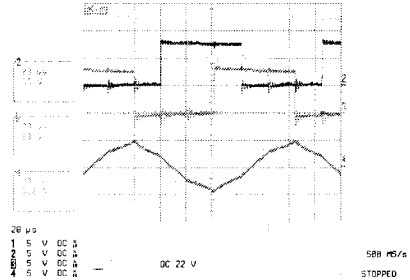
Ch1: U상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch2: V상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch3: W상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch4: U상 출력전류(5A/div,20us/div)

그림11. 출력전압파형과 U상 전류파형



Ch1: U상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch2: V상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch3: W상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch4: V상 출력전류(5A/div,20us/div)

그림12. 출력전압파형과 V상 전류파형



Ch1: U상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch2: V상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch3: W상 출력전압(50V/div,20us/div)
Ch4: W상 출력전류(5A/div,20us/div)

그림13. 출력파형과 W상 전류파형

3. 결 론

본 논문에서는 3상 출력의 600V/10A의 6개의 NPT-IGBT inverter, 600V급 monolithic high voltage IC를 사용한 gate driver, 240Vdc~380Vdc 입력전압과 5Vdc, 15Vdc, 24Vdc 출력을 갖는 Flyback converter를 Module화한 BID-IPM의 설계에 대해 논하였고 제작한 BID-IPM을 signal board 및 DUT board를 이용한 실험을 통하여 정상동작 및 안정성을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Byoung-Ho Choo, Jun Bae Lee, Dae-Woong Chung, Jung Boong Lee, Bum-Seok Suh, Tae Hoon Kim, "IPMs technology for Inverter-driven Home Appliance Application", 전력전자학술대회 논문집, p.456-459, 2000
- [2] Richard Francis, Marco Soldano, "A New SMPS Non Punch Thru IGBT replaces MOSFET in SMPS High Frequency Application", APEC, 2003
- [3] A. Merello, A. Ruggineni, M. Grasso, "Using monolithic high voltage gate drivers", DT04 4., p.1-15, 2004
- [4] Jonathan Adams, "Bootstrap Component Selection For Control IC's", dt98-2a, p.1-4, 1998
- [5] 김희준, "스위칭 전원의 기본설계", 성안당, 2002