

지능형 전력 반도체 모듈, 단락 상태 분석

송현수, 송복근, 이태진, 조형섭, 차영길
인피니언 테크놀로지스 코리아

Intelligent Power Module (IPM), short circuit mode analysis

Hyunsoo Song, Bokkeun Song, Taejin Lee, Hyoungsub Jo, Younggil Cha
Infineon Technologies, KOREA

ABSTRACT

인피니언 테크놀로지스의 600V, IGBT가 탑재된 새로운 지능형 전력 반도체 모듈(Intelligent power module, 이하 IPM)은 다양한 분야에서 널리 사용되는 제품이며, 낮은 손실과 고유한 보호 기능을 제공한다. 모든 어플리케이션에서 IPM을 사용하는 경우 이벤트와 함께 높은 전류가 발생 할 수 있다. IPM은 게이트 드라이버가 포함되어 있어, 특정 단락 조건에서 전류를 제한하고 고장을 견디어야 한다. 본 논문에서는 다양한 단락 상태를 보여주는 예제를 제공하고, 보호회로에 대한 설명 및 해법을 제공한다.

1. 서론

최근 환경오염과 에너지 부족으로 대두된 여러 규제로 신뢰성을 갖춘 소형화된 고효율 전력 반도체 모듈의 수요가 증가되고 있다. 인피니언 테크놀로지스의 IPM의 대표적인 CIPOS™ Mini 시리즈는 최소화된 패키지와 향상된 신뢰성 및 낮은 전력소비를 제공하고 있다. 그림 1은 CIPOS™ Mini 새로운 시리즈의 패키지를 보여준다. 이 제품은 Trenchstop™ 기술이 적용된 IGBT와 함께 이를 구동하기 위한 게이트 드라이버가 3상 인버터 구조로 구성되어 있어 이를 통해 3상 모터 구동을 가능하게 한다. 또한 게이트 드라이버에 내장된 부트스트랩 회로를 통해 상 압 구동을 위한 추가 전원회로 구성에 대한 부담을 줄였으며, 온도 모니터링을 위해 내장형 NTC 서미스터가 구성되어있다. 더불어 단락 상태별 차이점을 IPM에 내장된 보호회로를 통해서 확인하고 3 선트 저항을 사용할 경우의 전류보호 방안을 확인 할 수 있다.^[1]

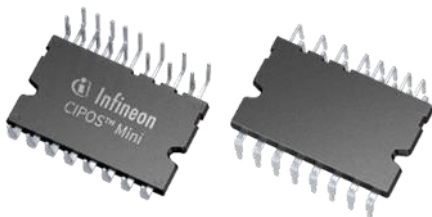


그림1 지능형 전력 반도체 모듈
Fig.1 Outline overview of CIPOS Mini

2. 단락상태와 보호회로에 대한 설명 및 해법

2.1 모듈의 구성 및 기능

그림 2는 IPM의 내부 등가 회로이다. SOI기반(Silicon-On-Insulator) 게이트 드라이버는 6개의 IGBT의 최적화된 구동과 더불어 IPM의 단락전류(Interlock), 과전류(Over current), 저전압(Under voltage lock out, UVLO) 보호 등의 기능을 제공한다. 또한 최적화된 필터링 기능을 통해 인버터 동작중에 발생하는 노이즈에 대한 강인함을 가진다.

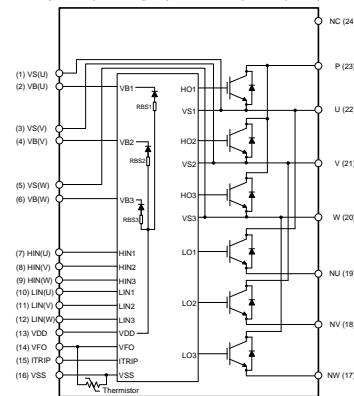


그림2 CIPOS™ Mini 모듈의 내부 등가회로^[1]
Fig.2 Internal equivalent circuit of CIPOS™ Mini

2.2 3상 인버터 드라이브에서의 단락상태 구분

단락상태는 표1과 같이 크게 2가지의 모드로 구분할 수 있다.

단락상태 구분	설명
단락모드 1	Low inductive single phase short
단락모드 2	Low inductive short in one phase, with conducting IGBT

표 1 단락모드 정의^[2]

Table 1 Define SC mode

그림5와 그림7의 파형은 CIPOS™ Mini 15A 제품을 실제 운전 중 그림3과 같이 차단기를 IPM의 P핀과 W핀을 단락시켜 단락 모드1과 단락 모드2를 측정된 파형이다.

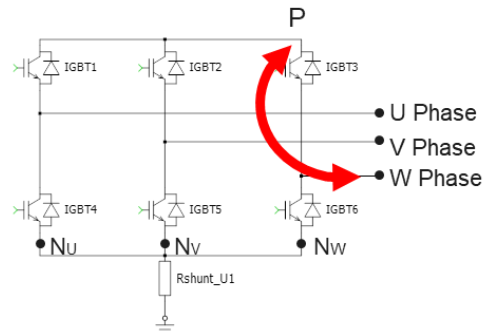


그림3 IPM의 실제 운전 중 단락 구성
Fig.3 SC mode on IPM

단락모드 1의 경우 그림4와 같이 상단 IGBT 양단을 단락시킨 후 하단 IGBT를 turn-on 시킨 경우다. 하단 IGBT 양단에 V_{CE} 전압이 나타나게 되고 단락전류의 di/dt 때문에 전압이 변동되게 된다. 단락전류의 di/dt는 $V_{dc}/(L_o + L_{sc})$ 를 따라가게 된다. (L_o : DC단 스트레이 인덕턴스, L_{sc} : 단락 부하 인덕턴스)

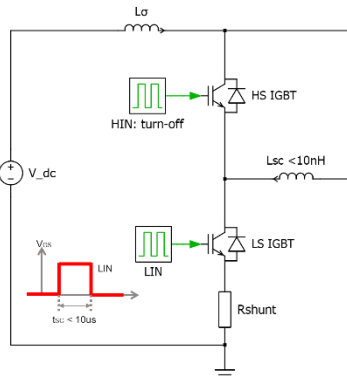


그림4 단락모드 1 회로구성 및 타이밍
Fig.4 Test circuit and timing of SC mode 1

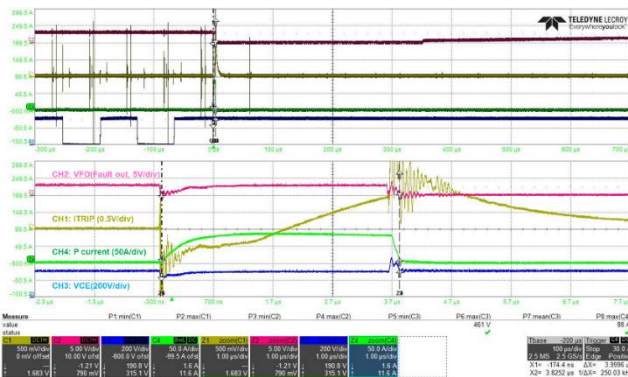


그림5 단락 모드 1 파형
Fig.5 Waveform of SC mode 1

단락모드 2의 경우는 그림6과 같이 하단 IGBT가 도통되어 있는 상태에서 상단 IGBT를 도통시켜서 단락 전류가 흐르게 된다. 하단 IGBT 양단의 V_{CE} 전압은 0V 근처에서 단락 전류가 흐르게 되면서 전압이 DC link 전압보다 높은 전압까지 상승하게 된다. 이 dv/dt에 의해서 게이트 전압 또한 커지게 되고 단락전류의 di/dt는 V_{dc}/L_o 에 의해서

단락모드 1보다 큰 di/dt와 피크전류를 보인다.

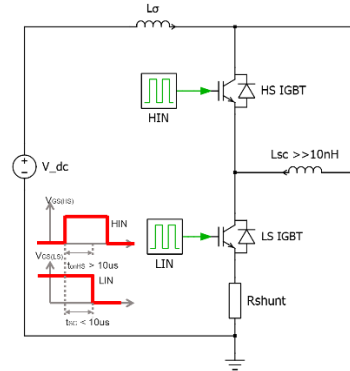


그림6 단락모드 2 회로구성
Fig.6 Test circuit and timing of SC mode 2

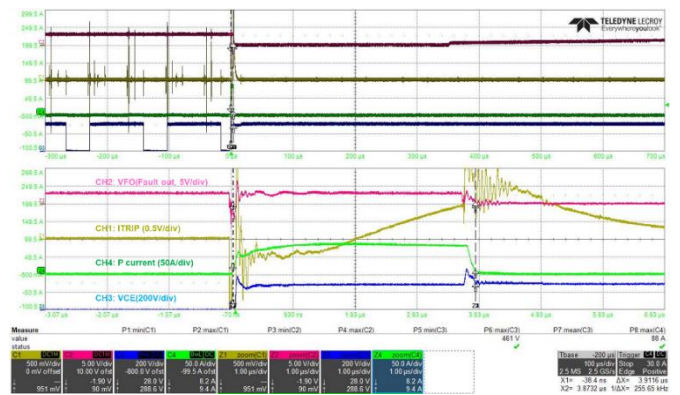


그림7 단락 회로 2 파형
Fig.7 Waveform of SC mode 2

2.3 보호회로

2.3.1 1개의 션트 저항을 사용하는 경우의 보호 회로 설명

그림8은 1개의 션트 저항을 사용하는 경우 일반적인 보호회로를 나타내고 있다. 전류가 션트 저항을 통해서 흐를 경우 션트 저항에 걸리는 전압을 센싱해서 외부 RC 필터를 거쳐서 ITRIP핀을 통해 전류를 보호하게 된다.

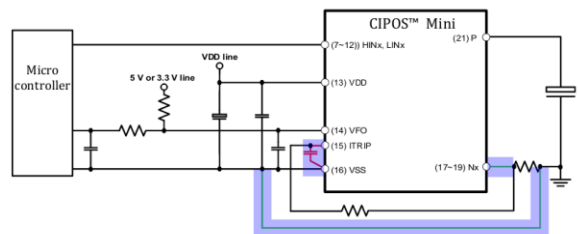


그림8 1개 션트 저항을 사용하는 일반적인 전류보호회로^[1]
Fig.8 Typical circuit current trip for 1 shunt resistors

2.3.2 3개의 션트 저항을 사용하는 경우의 보호회로 설명

IPM이나 Gate driver IC를 사용하는 경우 단락전류 보호를 하기 위하여 션트저항에 흐르는 전류를 센싱하여 센싱된 전압을 ITRIP핀으로 감지하여

보호를 하게 된다. 인피니언 게이트 드라이버의 한 종류인 6ED04 제품군의 ITRIP핀의 전류트립레벨은 380mV(min)/445mV(typ)/510mV이다. 90mohm의 션트저항을 하나만 사용하는 경우 5A의 전류 보호레벨을 설정하는 경우에서, 전류센싱을 변경하여 3 션트 저항을 사용하는 경우는 표2와 같이 다이오드의 온도에 따라서 편차가 커지게 되어서 1션트를 사용하는 경우와 같은 5A레벨로 설정할 경우는 OP Amp를 추가로 사용하던지 션트저항을 변경하여야 한다.

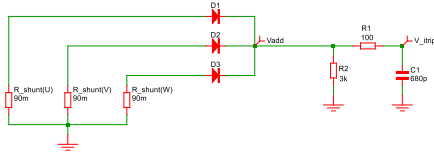


그림9 3 션트 저항을 사용하는 일반적인 전류보호회로
Fig.9 Typical circuit current trip for 3 shunt resistors

6EDL04 series	min.	typ.	max.	구분
$V_{IT,TH+}$ [V]	0.38	0.445	0.51	
Trip current [A]	10.68	11.50	12.30	$T_{J(Diode)}=25^{\circ}C$
	8.30	9.14	9.97	$T_{J(Diode)}=125^{\circ}C$

표2 다이오드의 온도에 따른 V_F 변화에 의한 전류 보호 레벨 편차
Table 2 Current protection level deviation by V_F variation with diode temperature

기준에 사용하던 동일한 션트저항을 사용하고 온도에 따른 편차를 줄이기 위해 그림8과 같은 회로를 제안한다. 이 경우 외부에 OP Amp를 추가하지 않고도 원하는 전류 보호레벨을 설정할 수 있고 RC 시정수에 의한 delay만 고려하면 되므로 OP Amp를 사용하는 경우보다 응답속도를 빠르게 가져갈 수 있다. 다이오드의 온도에 따른 V_F 와 전류보호를 위한 ITRIP핀의 오차를 고려하더라도 표2의 결과보다 표3에서 볼 수 있듯이 전류보호레벨의 편차를 줄일 수 있고, 션트 저항값을 변경하지 않고도 1 션트 저항과 비슷하게 전류 보호레벨을 가져갈 수 있는 이점이 있다.

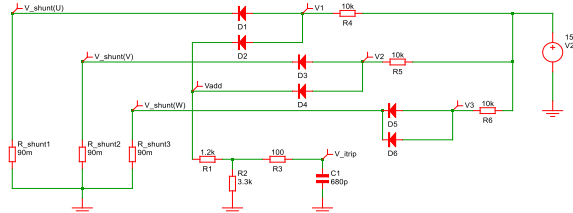


그림10 동일한 3 션트 저항값을 사용하여 1 션트와 동일한 전류보호레벨을 설정하기 위한 회로

Fig.10 Circuit for setting a current protection level equal to 1 shunt using the same 3 shunt resistor

6EDL04 series	min.	typ.	max.	구분
$V_{IT,TH+}$ [V]	0.38	0.445	0.51	
Trip current [A]	4.50	5.58	6.66	$T_{J(Diode)}=25^{\circ}C$
	3.99	5.11	6.22	$T_{J(Diode)}=125^{\circ}C$

표3 제안된 회로의 다이오드 온도에 따른 V_F 변화에 의한 전류 보호 레벨

Table 3 Current protection level deviation by V_F variation with diode temperature of proposed circuit

3. 결론

본 논문에서는 게이트 구동회로가 내장된 600V IPM short circuit mode에 대한 설명과 보호회로에 대한 설명을 하고 있다. 특히 이 논문은 실제 보호회로 사용시 주의할점과 어떻게 회로를 설정해야하는지 추천회로를 포함하고 있다. 특히, sensor less 제어를 위한 three shunt 회로에 대해 좀 더 중점적으로 설명하고 있다.

참고 문헌

- [1] AN2022-06, CIPOS™ Mini Technical description. https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-CIPOS_Mini_Technical_description-ApplicationNotes-v03_00-EN.pdf?fileId=5546d462566bd0c7015674af32d5258b
- [2] ABB, IGBT short circuit mode safe operating area (SOA) capability and testing, Application Note 5SYA 2095-01, ABB, 2019