

MOSFET Rds(on) 온도-저항 특성을 이용한 과열보호회로 모델링

최낙권¹ 이상훈² 김형우 김기현 서길수 김남균
경남대학교¹ 한국전기연구원

Over-Temperature Protection Circuit Modeling Using MOSFET Rds(on) Temperature-Resistance Characteristics

Nak-Gwon Choi¹, Sang-Hoon Lee², Hyoung-Woo Kim, Ki-Hyun Kim, Kil-Soo Seo, Nam-Kyun Kim
Kyungnam University¹, KERI

Abstract - In this paper we suggest a novel temperature detection method utilized in direct over-temperature protection circuit modeling. The suggested model detects temperature variation using Rds(on) characteristics of MOSFET, while the conventional methods are using extra devices such as a temperature sensor or an over-temperature detection transistor. The temperature-dependant MOSFET model is implemented using Spice ABM(Spice Analog Behavior Model). The direct over-temperature protection circuit was designed including it.

We verified effectiveness of the temperature-dependant Rds(on) model characteristics and performance of the direct over-temperature protection circuit on PSpice simulation

안정성, 소형 및 경량화를 만족하도록 설계해야 한다. 또한, 전력소자를 최적인 상태에서 구동 및 보호할 수 있는 전용 IC를 채용하고, 최종적으로 내장잡음, 서지전압, 방열특성, 크기 등을 고려한 고집적 패키지 기술이 필요하다.

본 논문에서는 IPM의 구성 모듈 중 직접 과열보호회로를 MOSFET의 Rds(on) 온도-저항 특성을 이용하여 구현하기 위해 PSpice의 ABM을 사용하여 온도 변화 모델링을 수행하였고, 구현된 MOSFET 온도 모델을 이용하여 과열보호 기능을 갖는 회로를 PSpice로 설계하였으며, 시뮬레이션을 통해 MOSFET의 Rds(on) 온도-저항 특성 모델의 타당성과 과열보호기능을 검증하였다.[3]

1. 서 론

현재 전력전자 응용 장치인 범용 인버터, 수치제어 동작기계, 산업용 로봇 등은 그 진보와 함께 고효율화, 소형화 등의 요구가 증가하고 있다. 장치의 고기능화, 소형화 요구에 대해서 전력소자는 저손실화는 물론 구동회로 및 각종 보호회로 등의 주변회로를 모듈 패키지 내에 실장하는 IPM(Intelligent Power Module)을 넘어 이미 ASIPM(Application Specified IPM)으로 진행되고 있다. 이러한 현상은 산업용뿐만 아니라 일반 가정용에서도 나타나고 있으며, 일본의 경우 에어컨의 85% 이상이 이미 인버터 구조를 사용하고 있고, 그 대부분은 IPM 패키지가 사용되고 있는 실정이다. 국내의 경우, 대기업 계열의 가전사에서 IPM을 채용한 에어컨을 생산 중에 있으며, 일부 시제품을 출하하고 있지만 인버터화 비율은 아직도 낮은 실정이다.

IPM 개발초기에는 종래의 전력소자 모듈에 단순히 구동회로나 보호회로를 삽입한 것으로서 주 소자로는 BJT, MOSFET를 이용하고 제어부는 후막 IC를 사용해 왔다. 그러나 최근 들어서는 MOSFET, IGBT 소자 및 전용 IC를 내장한 것이 주류를 이루고 있다. IPM은 IGBT, BJT, MOSFET, FRD, 사이리스터, 트라이악 등의 전력 반도체 소자와 제어회로, 구동회로, 보호회로, 제어전원을 단일 패키지 내에 구성한 것으로서 용도 및 시스템의 요구에 따라 입출력 전압전류, 제어방식, 형상 및 크기가 다양하다.[1-2]

이것은 단순히 제어회로 등을 하나의 모듈 내에 내장하는 것이 아니라, 시스템, 소자, 제어 및 보호기능을 종합적으로 고려한 최적설계가 필요하다. 따라서 시스템 측면에서 필요한 저소음, 고효율, 평활도, 안정한 제어, 소형 및 경량화, 설계 및 조립의 용이성 등을 고려해야 한다. 따라서 소자에서는 개별소자로 사용할 때와 구별되는 고속 스위칭, 저손실, 안정한 동작 영역에 대한 최적의 설계, 적절한 보호대책, 짧은 차단시간, 높은 노이즈

2. 본 론

2.1 과열보호(Over Temperature Protectin) 기능

과열보호에는 Free Wheeling Diode, Thermal Sensor 및 전력소자의 드레인-소스간의 온도에 따른 저항특성을 이용하는 3가지 방법이 있다. 일반적으로 전력 반도체 소자가 과열에 의하여 소자파괴에 이를 수가 있는데, 이를 방지하기 위해 IPM에서는 전력반도체 소자의 온도를 검출하여 일정 온도에 이르기 전에 소자에 공급되는 전력을 차단하는 기능을 내장하고 있으며, 이것이 과열보호 기능이다.[1]

본 논문에서 제안하는 직접 과열보호방식은 파워 MOSFET 소자의 Rds(on) 온도 의존성을 이용한 방법이다. 직접 과열보호용 소자로는 파워 MOSFET IRF840을 사용하였으며, 그림 1은 게이트-소스간 구동전압이 10V, Id는 3.5A일 때 드레인-소스간의 평균 저항 0.75Ω으로 정규화된 드레인-소스간 온 저항을 보여주고 있다. 온도가 상승하면 100℃일 때 Rds(on)(norm) = 1.65Ω으로 나타난다.

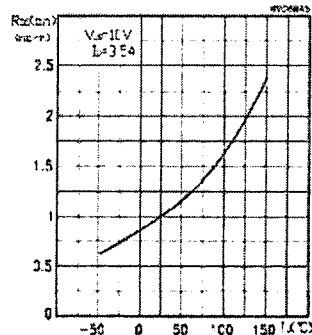


그림 1. 5A급 MOSFET의 온도에 따른 Rds(on) 특성[4]

그림 2는 I_d 전류에 따른 드레인-소스간 저항의 변화를 나타낸 것이다. 정적 드레인-소스간 $R_{ds(on)}$ 은 게이트-소스간 구동전압이 10V, I_d 는 3.5A 일 때, 0.75 Ω 이며, 최대 0.85 Ω 까지 이른다. 그림 1과 그림 2에서 확인할 수 있듯이 전류에 의한 영향보다 온도에 의한 영향이 $R_{ds(on)}$ 에 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 따라서 $R_{ds(on)}$ 의

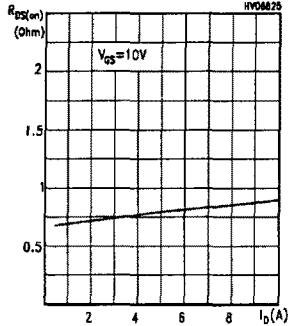


그림 2. I_d 전류에 따른 드레인-소스 저항[4]

온도 의존성을 활용하여 주 스위치 소자인 파워 MOSFET의 과열여부를 검지하는 것이 가능하다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 직접 과열보호 시스템으로서 파워 MOSFET 동작시 온도의 변화에 따른 $R_{ds(on)}$ 값을 검출하기 위한 회로로서 $V_{ds} = V_d - V_b$ 로 표시한 블록은 파워 MOSFET의 온도 변화에 따른 $R_{ds(on)}$ 변동을 검출하기 위한 부분이고, $k \cdot V_b$ 로 표시한 블록은 보호온도 설정을 위한 부분이다. 여기서 k 는 최고 온도에서 R_{ds} 와 R_b 의 비로 주어지며, R_b 는 수십 m Ω 으로 주어진다. 비교기 블록은 설정된 온도와 검출된 온도를 비교하여 제어신호를 출력하는 부분이다.

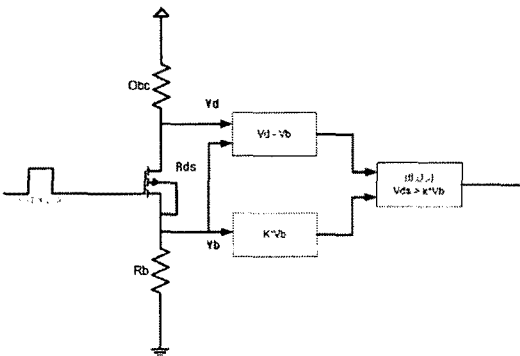


그림 3. 직접 과열보호 시스템의 구성도

2.2 직접 과열보호(Direct Over Temperature Protection)회로

그림 4는 PSpice를 이용해 설계한 직접 과열보호 회로를 나타낸 것이다. 파워 MOSFET의 게이트 트리거 신호는 주파수가 2kHz, 진폭이 10V인 정형파 펄스를 사용하였고, 드레인-소스간에 10V의 직류 전압을 인가하였으며, Opamp의 + 전원단자에 15V를 - 전원단자는 접지시켰다. 부하저항 6 Ω , R_b 는 0.5 Ω 저항을 달았다.

온도 변화에 따른 $R_{ds(on)}$ 의 변화를 검출하기 위해 LM324 Opamp를 사용하여 계측증폭기를 구성하였으며, 온도 모델링된 IRF840 파워 MOSFET을 PSpice ABM을 사용하여 설계하였다.

본 논문에서 설계한 직접 과열보호회로는 MOSFET의

온도가 약 90 $^{\circ}$ C가 되면 제어신호가 HIGH에서 LOW로 떨어지도록 설계하였으며, 사용자의 설정에 따라 보호온도를 변경할 수 있다.

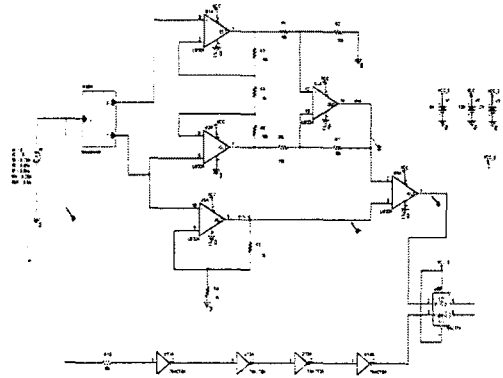


그림 4. 직접 과열보호회로[13]

2.3 설계된 직접 과열보호회로 시뮬레이션

그림 5는 설계된 직접 과열보호회로를 이용하여 25 $^{\circ}$ C에서 측정한 각 부분별 출력 전압 파형을 나타낸 것이다. $V_{k \cdot shunt}$ 전압은 5.57V이고, V_{out} 은 3.13V이다. 25 $^{\circ}$ C에서의 두 출력의 전압차는 2.44V를 나타내고 있다.

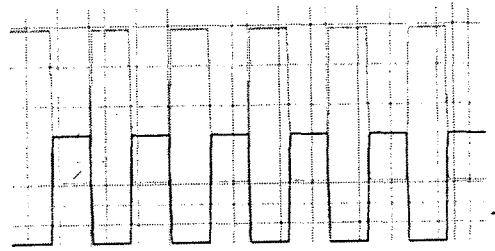


그림 5. 25 $^{\circ}$ C일 때 시뮬레이션 전압파형

그림 6은 온도 50 $^{\circ}$ C일 때 $V_{k \cdot shunt}$ 전압은 5.32V이고, V_{out} 은 3.82V, 두 출력의 전압차는 1.5V를 나타내고 있다.

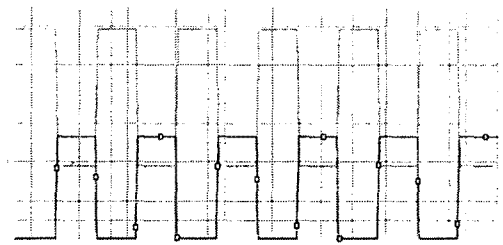


그림 6. 50 $^{\circ}$ C일 때 시뮬레이션 전압파형

그림 7은 70 $^{\circ}$ C일 때 시뮬레이션 결과를 나타낸 것인데, $V_{k \cdot shunt}$ 전압은 5.218V이고, V_{out} 은 4.114V, 두 출력의 전압차는 1.104V를 나타내고 있다.

그림 8은 80 $^{\circ}$ C일 때 시뮬레이션 결과를 나타낸 것인데, $V_{k \cdot shunt}$ 전압은 5.085V이고, V_{out} 은 4.491V, 두 출력의 전압차는 0.5941V를 나타내고 있다.

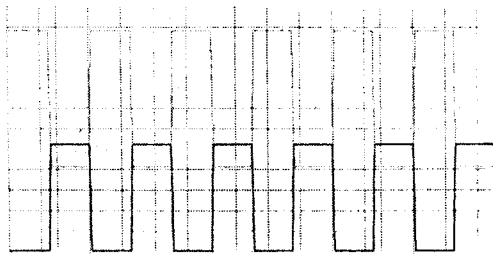


그림 7. 70°C일 때 시뮬레이션 전압파형

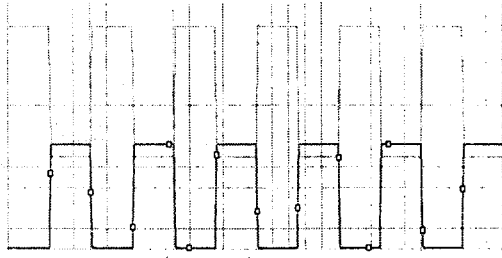


그림 8. 80°C일 때 시뮬레이션 전압파형

그림 9는 90°C일 때 시뮬레이션 결과를 나타낸 것인데, Vks*shunt 전압은 4.919V이고, Vout은 4.934V, 두 출력의 전압차는 -0.015로 Vout의 출력이 Vks*shunt의 출력보다 커지고, 설정한 보호온도에서 제어신호출력이 High에서 Low로 바뀌는 지점이 된다.

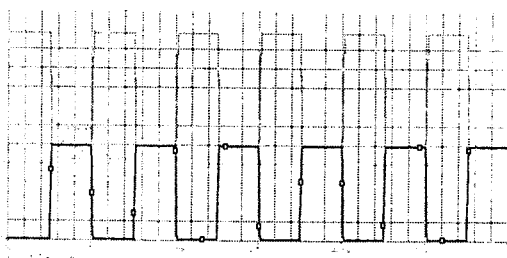


그림 9. 90°C일 때 시뮬레이션 전압파형

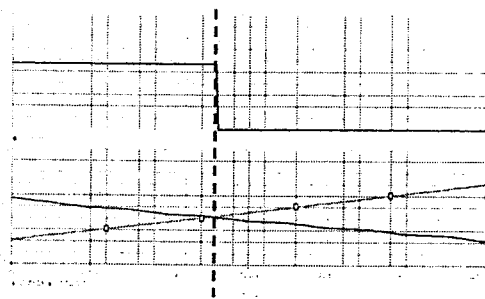


그림 10. Performance Analysis를 수행한 결과 파형

그림 10은 PSpice의 Performance Analysis를 이용해 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Vks*shunt와 Vout이 서로 교차하는 점에서 과열보호 제어신호(OTP)가 High에서 Low로 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 100°C일 때의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것인데, 이때의 Vks*shunt 전압은 4.724V이고, Vout은 5.517V 두 출력의 전압차는 -0.793V로 온도가 증가함에 따라 더욱더 전압차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션을 수행한 결과 Vks*shunt 값은 온도가 상승함에 따라서 점차 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 온도가 상승함에 따라서 드레인-소스간 Rds(on)값 증가에 따른 전류의 감소에 기인한 것이다.

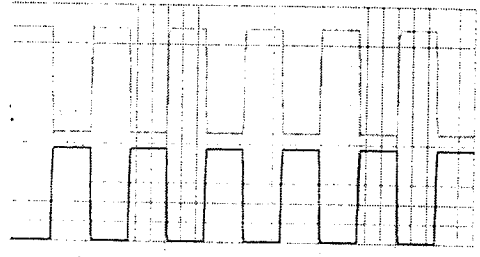


그림 11. 125°C일 때 시뮬레이션 전압파형

마지막으로 표 1에 온도 증가에 따른 Vks*shunt와 Vout, 그리고 과열보호 제어신호(OTP)의 출력상태를 정리하였다.

표 1. 온도에 따른 직접 과열보호회로의 동작 특성

온도(°)	25°	50°	70°	80°	90°	100°	125°
Vks*shunt[V]	5.57	5.32	5.218	5.085	4.919	4.898	4.724
Vout[V]	3.13	3.82	4.114	4.491	4.934	5.022	5.517
전압차[V]	2.44	1.5	1.104	0.5941	0.015	-0.134	-0.793
OTP	H	H	H	H	L	L	L

3. 결 론

본 논문에서는 기존에 온도 변화 검출을 위해 사용하던 온도센서나 과열검출 트랜지스터를 사용하지 않고, MOSFET의 Rds(on) 특성을 이용하여 온도 변화를 검출하였다. 온도 변화에 따른 MOSFET의 Rds(on) 특성 Model을 Spice의 ABM(Analog Behavior Model)을 사용하여 모델링 하였고, 온도 변화 모델링된 MOSFET을 이용하여 직접 과열보호 기능을 갖는 회로를 PSpice로 설계하였으며, 시뮬레이션을 통해 MOSFET의 Rds(on) 온도-저항 특성 모델의 타당성과 직접 과열보호기능을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Fairchild Semiconductor, "A New PSpice Electro-Thermal Subcircuit for Power MOSFETs", Rev A, 2003
- [2] Dr. Martin Marz, Paul Nance, "Thermal Modeling of Power-electronic Systems", Infineon Technologies AG, 2004
- [3] OrCAD Pspice A/D User's Guide
- [4] IRF840 Datasheet, International Rectifier