

SiC FET와 Gate Driver의 단락 보호 기능

신 한호, 허 준, 전 성준
부경대학교 전자공학과

Short-Circuit Protection Function of Gate Driver for SiC FET

Han Ho Shin, Joon Heo, Seong Jeub Jeon
Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University

ABSTRACT

In this paper, a short circuit protection function of a gate driver for SiC FET is investigated, which monitors voltage between drain and source of a FET under turn on condition and turns off the FET if the voltage exceeds a predefined value.

1. 서 론

최근 들어 그 사용이 널리 확산되고 있는 SiC (Silicon Carbide) FET (Field Effect Transistor)나 GaN (Gallium Nitride) FET는 스위칭 손실을 크게 줄여 주어 전력전자 회로에 크게 기여할 것으로 보인다.^{[1][4]} IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)에 기반을 둔 것이든 FET에 기반을 둔 것이든 대출력 회로에서는 gate driver가 매우 중요한 위치를 차지한다.^{[5][7]} gate driver의 특성 중에서도 단락 보호 기능은 최악의 상황에서도 회로를 보호하는 역할을 수행하므로 매우 중요하다고 하겠다. 스위칭 소자에 FET를 사용하면 드레인과 소스 양단 전압은 드레인 전류에 비례하므로 IGBT의 경우에 비하여 단락 보호를 예민하게 만들 수 있다. 본 논문에서는 SiC FET를 위한 gate driver에서 드레인 소스 전압을 검출해 임의로 설정한 전류에서 보호 동작이 일어나게 할 수 있음을 보였다.

2. 본 론

2.1 gate driver 회로

bipolar transistor를 직접 구동하는 데에는 큰 (직류)전류를 필요로 하지만 IGBT나 FET는 gate가 절연되어 있는 관계로 구동하는 데에는 큰 (직류) 전류를 필요로 하지 않는다. 단, 신호의 transition에서는 gate에 형성되어 있는 정전용량 때문에 큰 충전(또는 방전) 전류를 필요로 한다. 그리고 안정한 off 상태를 유지하기 위하여는 약간의 부 전압을 필요로 한다. SiC FET에 필요한 게이트 신호는 IGBT에 필요한 게이트 신호보다 on 신호는 조금 높고 off 신호는 조금 낮은 경향이 있다.

FET는 게이트 전압에 의해 드레인 소스 사이의 저항이 정해지는 소자로 볼 수 있다. 게이트 전압이 주어지면 R_{dson} 이 주어지고 여기에 전류가 흘러 전압 강하가 나타난다. 이 전압 강하로 드레인 전류를 추정할 수 있다.

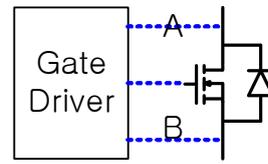


그림 1 대표적인 Gate Driver
Fig. 1 Typical Gate Driver

2.2 단락의 발생

단상 인버터를 구성하면 단락 현상은 대략 2가지로 나타난다. 그림 2(a)에 나타낸 단락은 arm 단락이라고 부른다. 그림 2(b)는 단락된 부하에 의하여 나타나는 단락이다. arm 단락은 또 스위칭 소자의 파손에 의한 것과 on 신호의 중첩에 의한 숏쓰루(shoot through) 두 가지가 있다. on 신호의 중첩에 의한 숏쓰루(shoot through)는 상하 FET driver간의 interlock 기능으로 예방할 수 있다. interlock 기능을 설계할 때에는 스위칭 소자의 on off 지연 시간 차를 고려하면 숏쓰루를 확실하게 막을 수 있다. 어떻게 발생한 단락이든지 회로의 인덕턴스에 의해 단락 전류는 기울기를 가지고 증가하는데 전류가 최대 허용 전류를 초과하기 전에 gate 신호를 제거하면 사고가 확대되는 것을 막을 수 있다. 즉, 전류에 의해 스위칭 소자가 파손되는 것을 막을 수 있다.

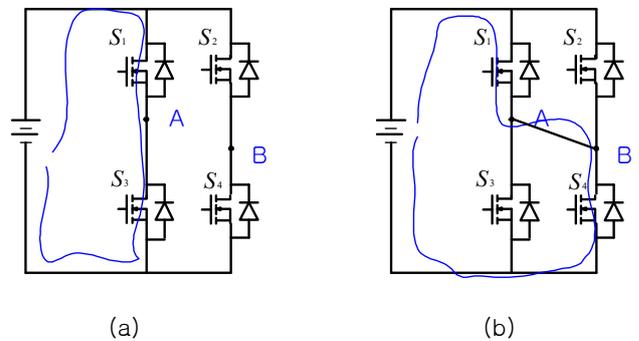


그림 2 단락의 종류
Fig. 2 various kinds of short circuit

2.3 단락 보호 (과전류 보호)

단락 또는 과전류 보호는 FET의 on 상태에서 드레인 소스 간 전압이 주어진 값을 초과할 때 게이트 신호를 제거하여 이루어진다. 이를 위하여 그림 3의 회로를 사용할 수 있다. 그림 3에서 U1은 게이트 신호가 off 상태에서는 sink 동작을 하여 A 점의 전압이 영에 가깝게 유지하도록 한다. 이 때 U2도 sink 동작을 하여 출력은 비보호동작 상태가 된다. 게이트 신호가 on 상태가 되면 C 점의 전압은 FET의 드레인 전압을 추종해 간다. 추종 중 전압이 정해진 값을 넘어서면 U2는 게이트 구동 신호를 제거하도록 출력을 낸다. 게이트 구동 신호가 제거되면 스위칭 소자는 off 상태로 가고 과전류로부터 안전하게 된다.

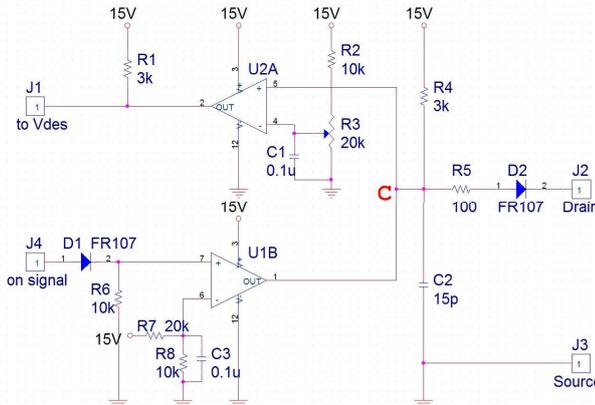
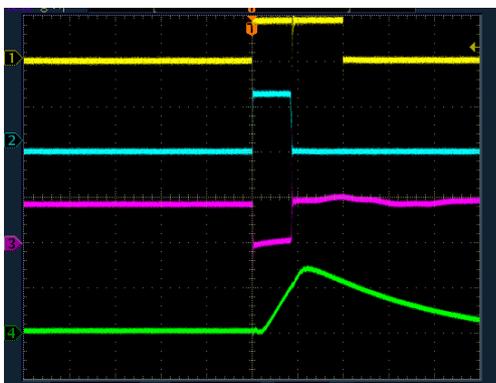


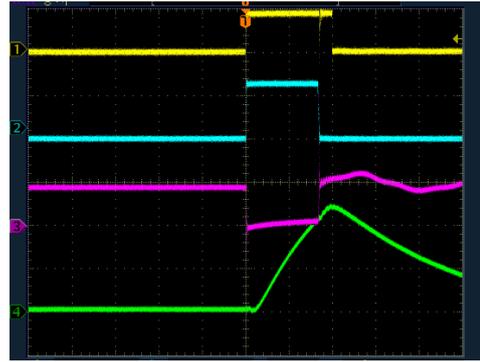
그림 3 과전류 보호회로
Fig. 3 over-current protection circuit

3. 실험

연구한 회로의 검증을 위하여 prototype을 제작하여 시험하였다. 스위칭 소자로는 Cree사의 C3M0065100K을 사용하였다. C3M0065100K은 정격전압이 1000 [V], 정격전류가 35 [A], $R_{ds(on)}$ 이 65 [mΩ]이다. 그림 4(a)는 30 [A]에서 보호 동작이 이루어지도록 설정한 경우의 동작 파형이고 그림 4(b)는 50 [A]에서 보호 동작이 이루어지도록 설정한 경우의 동작 파형이다. 회로는 반복하여 동작시켜도 설정된 차단 전류에서 잘 동작하였다.



(a) 보호전류: 30 [A]



(b) 보호전류: 50 [A]

그림 4 동작파형

Fig. 4 Operation waveforms (top: logic gate signal, middle upper: actual gate signal 20V/div, middle lower: drain-source voltage 25/div, bottom: drain current 20 A/div, time base: 10 μ sec/div)

4. 결 론

본 논문에서는 SiC FET의 게이트 구동회로에서 IGBT 경우와는 달리 과전류 보호 기능을 정교하게 구현할 수 있음을 보였다. 이는 IGBT와는 달리 FET가 드레인 소스 간의 저항이 일정한 것처럼 보이는 특성에 의하여 주어지는 것으로 드레인 전류에 의해 주어지는 드레인 소스간 전압이 전류에 비례하기 때문이다. 드레인 소스간의 저항이 온도에 따라 증가하는 문제는 그림 3의 회로에 온도 보상 기능을 넣어 해결하거나 온도에 따라 드레인 전류를 감소시키는 용도로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Milligan, S. Sheppard, W. Pribble, Y. F. Wu, G. Muller and J.W. Palmour, "SiC and GaN wide bandgap device technology overview", IEEE Radar conference record, pp. 960 964, 2007
- [2] J. Heo and S. J. Jeon, "Resonant Converter with Fully Compensated Isolation Transformer", Proc. of EECSS 2016, pp. 1 6, 2016.
- [3] A. Wakejima, K. Matsunaga, Y. Okamoto, Y. Ando, T. Nakayami, and H. Miyamoto, "370W output power GaN FET amplifier for W CDMA cellular base stations", Electronics Letters, vol. 41, no. 25, pp. 1371 1372, 2005.
- [4] J. Heo and S. J. Jeon, "Half Bridge Resonant Converter with Coreless Isolation Transformer", KIEE Trans. vol. 66, no. 4, pp. 636 642, 2017.
- [5] F. Eschrich, "Protection of IGBT modules in inverter circuits", EPE Journal, vol. 1, no. 1, pp. 57 60, 1991.
- [6] R. Chokhawala, J. Catt, and B. Pelly, "Gate drive consideration for IGBT modules", IEEE Trans on Industry Appl., vol. 31, no. 3, pp. 603 611, 1995.
- [7] F. Qi, and L. Xu, "Development of a high temperature gate drive and protection circuit using discrete components", IEEE Trans on Power Electron., vol. 32, no. 4, pp. 2957 2963, 2017.