

IGBT 게이트 드라이버 설계요소 분석

정진용 · 차한주
충남대학교 전기공학과

Design element analysis for IGBT Gate driver

Jinyong Jeong · Hanju Cha

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

모터 가변속 구동장치나 계통연계 전력변환 장치, 무정전 전원장치(UPS)등 스위칭 주파수가 수 ~ 20kHz 정도의 중용량 장치에 IGBT가 주로 사용된다. 최근에는 소용량 가전제품부터 대용량의 전철의 모터 구동장치 등 다양한 전기기기에 IGBT가 사용되고 있다. IGBT의 성능은 게이트 드라이브 회로에 의해 결정되며, 스위칭 특성, 파형 컨트롤과도 밀접한 관련이 있다. 본 논문에서는 IGBT의 안정적인 스위칭 동작에 영향을 끼치는 요인과 Turn on 시퀀스를 분석하였고 IGBT의 물리적 특성을 고려하여 불안정한 게이트 에미터 전압을 안정화시킬 수 있는 게이트 드라이버의 설계 요소에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

IGBT는 MOSFET의 고속 스위칭 능력과 BJT의 높은 전류 밀도, 적은 On state 전압강하를 가지는 소자로서 다양한 전력 전자 시스템을 구성하는 중요 요소이다. 그러므로 안정적인 IGBT의 동작을 위하여 게이트 드라이버가 올바른 출력을 낼 수 있도록 설계되어야 한다. 불안정하거나 이상 출력을 발생하는 게이트 드라이버를 사용할 경우 IGBT와 주변회로의 손상을 야기할 수 있다.

2. IGBT 게이트 드라이버

2.1 IGBT Turn-on 시퀀스와 R_{GATE} 저항

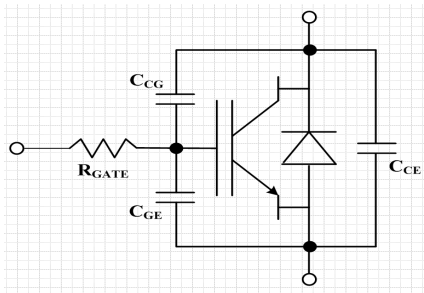


그림 1 IGBT의 내부 커패시턴스와 게이트저항
Fig. 1 IGBT internal capacitance and gate resistance

그림 1과 같이 IGBT는 구조적으로 내부에 커패시터를 가진다. 각각 게이트 에미터 커패시턴스(C_{GE}), 컬렉터 에미터 커패시턴스(C_{CE}), 컬렉터 게이트 커패시턴스 C_{CG} 로 R_{GATE} 저항과 함께 IGBT의 스위칭 동작에 영향을 끼친다.^[1]

그림 2는 IGBT의 Turn on 시퀀스를 보여주고 있다. t_1 구간에서 게이트 펄스가 인가되면 게이트 전류가 C_{GE} 를 충전하고 게이트 에미터 전압이 문턱전압까지 상승한다. 이 때, IGBT는 Turn on process를 시작하여 컬렉터전류는 부하전류의 값까지 증가하고 게이트 에미터 전압이 안정기에 진입한다.

t_2 구간에서 게이트전류는 C_{CG} 에 충전되었던 전하를 방전시키고 방전 시간동안 게이트 에미터 전압은 비교적 일정한 상태를 유지한다. 그러나 C_{CG} 의 값이 C_{GE} 에 비해 매우 작아서 이 효과는 무시될 수 있다. 컬렉터 에미터 전압은 on state 전압까지 감소하고 C_{CG} 의 방전이 끝나면 IGBT는 완전히 도통되고 게이트 에미터 전압이 지수 함수적으로 상승하여 +15V에 도달한다.^[2]

Turn on시간은 게이트 드라이버 회로의 출력 임피던스에 의해 변화한다. 게이트 신호가 인가되면 게이트 에미터 전압은 $R_{GATE} \times (C_{GE} + C_{CG})$ 의 시상수로 상승하므로 적절한 R_{GATE} 값을 선택하여 Turn on 속도와 스위칭 손실을 조절할 수 있다.^[1]

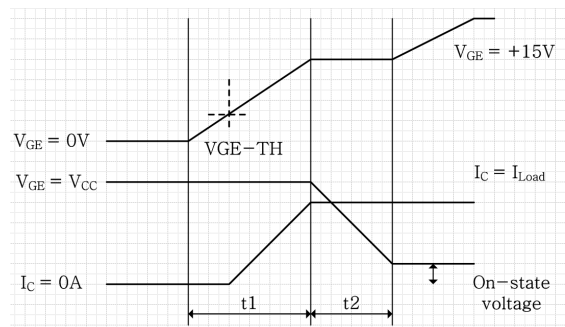


그림 2 IGBT Turn-on 시퀀스
Fig. 2 IGBT Turn-on sequence

2.2 L_{GATE} 이 출력 임피던스에 미치는 영향

본 논문에서 사용된 IGBT는 IXYS사의 IXGH30N60C2D1 모델로 Turn on시 게이트 신호는 +15V, R_{GATE} 저항은 5 Ω 으로 설

정하였다. 그림 3은 IGBT의 게이트 에미터 간의 전압 파형으로서 Turn on시에 서지전압이 발생함을 확인할 수 있다. V_{GE} 의 최대정격이 $\pm 20V$ 이므로 이 내압을 초과한 전압이 게이트 단자에 인가되면 게이트 산화막이 영구히 파괴된다. 이 서지전압은 컬렉터 에미터 전압, R_{GATE} 저항 및 스위칭 소자와 게이트 신호간의 배선길이에 영향을 받는다.

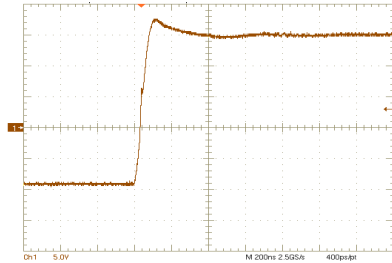


그림 3 게이트-에미터 서지전압 파형
Fig. 3 The Gate-emitter surge voltage waveform

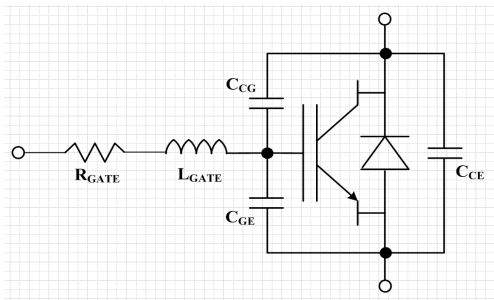


그림 4 게이트 드라이버의 출력 임피던스
Fig. 4 Output impedance of Gate driver circuit

게이트 드라이버의 출력 임피던스에 L값을 고려하면 게이트 신호에 대한 게이트 에미터 전압의 전달함수를 식(1)과 같이 2차 시스템으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{LCS^2 + R_g CS + 1} \quad (1)$$

$$\frac{-RC \pm \sqrt{R^2 C^2 - 4LC}}{2LC} \quad (2)$$

$$R^2 \geq \frac{4L}{C} \quad (3)$$

$$R^2 < \frac{4L}{C} \quad (4)$$

이 전달함수의 극점은 식(2)와 같다. R, L, C에 대하여 식(3)을 만족한다면 시스템의 극점은 복소평면의 실수축에 있고 과감쇠 또는 임계감쇠 응답을 보일 것이나 식(4)의 경우 시스템은 두 개의 복소 극점을 가지고 오버슈트가 포함된 미흡감쇠 응답을 보일 것이다.^[3]

IGBT의 내부 커패시턴스는 컬렉터 에미터 전압에 따라 변화하고 Datasheet에 그 값이 제공된다. 그림 5에서 커패시턴스와 L_{GATE} 가 일정할 때, R_{GATE} 값을 변화하여 각각의 파형을 비교하였다. $R \gg L$ 이 되는 경우 L_{GATE} 영향이 줄어들어 서지전

압특성이 사라진 것으로 분석할 수 있다.

그림 6에서는 $R_{GATE} = 5\Omega$ 로 $V_{CE} = 0V$ 로 설정하였을 때, R_{GATE} 저항과 IGBT Gate단자와의 거리를 변화시켜 L_{GATE} 의 영향을 보여주고 있다.

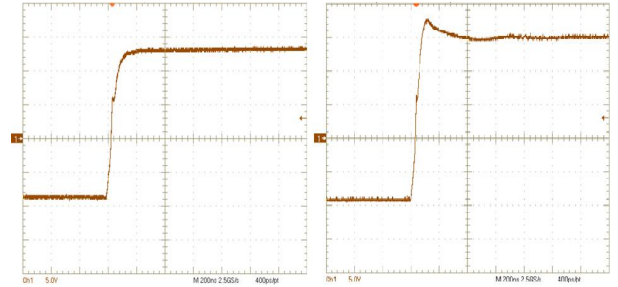


그림 5 저항의 변화에 따른 게이트-에미터 전압 파형 비교 (좌: $R_{GATE} = 10\Omega$, 우: $R_{GATE} = 5\Omega$)
Fig. 5 Change in resistance and gate-emitter voltage waveform comparison (Left: $R_{GATE} = 10\Omega$, Right: $R_{GATE} = 5\Omega$)

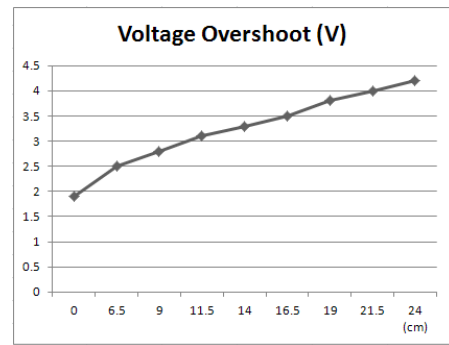


그림 6 L_{GATE} 값에 따른 전압 오버슈트의 변화
Fig. 6 Voltage overshoot due to changes in L

3. 결 론

본 논문에서는 게이트 에미터 전압에 서지전압이 발생하는 현상을 주목하여 그 발생 원인을 분석하였다. IGBT의 내부 커패시턴스와 Turn on 시퀀스를 연관시켜 살펴보았고 게이트 전압이 RC회로의 시상수로 상승하므로 R_{GATE} 로 dV/dt 를 변화시켜 Turn on시간과 스위칭 손실을 조절할 수 있었다. R_{GATE} 저항과 L_{GATE} 를 변화시켜 게이트 에미터 전압 파형을 통해 그 영향을 확인하였고 게이트 드라이버 설계 시 고려해야 할 요소를 고찰하였다.

참 고 문 헌

- [1] VISHAY, "Application Note 91 IGBT/MOSFET Gate Drive Optocoupler"
- [2] SEMIKRON, "Application Note AN 7004 IGBT Driver Calculation"
- [3] Norman S. Nise, "Control systems engineering fifth edition", 2010, march.