

데이터시트 분석을 통한 MOSFET 게이트 드라이버 선정 방법 연구

나병렬, 쯡찬틴, 최성진
울산대학교 전기전자컴퓨터공학과

Effective Gate Driver Selection Guide Considering MOSFET Characteristics

Byeong Ryeol Na, Chanh Tin Truong, Sung-Jin Choi

Department of Electrical, Electronic, and Computer Engineering, University of Ulsan
Ulsan, 44610, South Korea

ABSTRACT

본 연구에서는 전력 변환기에서 MOSFET을 제어하는 데 결정적인 역할을 하는 게이트 드라이버에 주목한다. MOSFET의 높은 스위칭 속도의 장점을 효과적으로 활용하기 위해서는 MOSFET의 게이트 드라이버 선정과 최적화가 필수적이나 체계적인 동작 조건의 선정 방법에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 주어진 MOSFET를 사용하여 스위칭 동적 특성을 이용하여 최대 스위칭 속도를 근사적으로 계산하는 공식을 도출하고 게이트 드라이버 데이터 시트의 최대 스위칭 속도와 비교 검증해본다.

1. 서론

전력 전자 분야에서 MOSFET 기술은 높은 전력 밀도, 낮은 스위칭 손실, 높은 동작 온도 특성 등으로 인해 주목받고 있다. 특히, MOSFET는 그림 1에서 볼 수 있듯이 높은 동작 주파수와 고내압의 특징을 가지고 있어 전력 전자 응용 분야에서 우수한 성능을 보여주고 있다[1]. 이러한 MOSFET의 특성은 게이트 드라이버 설계에도 도전과 기회를 제시하고 있다. 높은 스위칭 속도는 에너지 변환 및 전력 전자 시스템에서의 성능 향상을 이끌어내기 때문에 게이트 드라이버의 구동 가능한 스위칭 속도를 최대한 이용하는 것이 중요하다. 게이트 드라이버 활용 시 데이터 시트를 이용해 최대 스위칭 속도를 계산하고 데이터 시트 내에 표기 되어 있는 최대 스위칭 속도와 비교하여 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 연구를 진행해 본다.

2. 최대 스위칭주파수 근사식 도출

그림 2는 MOSFET의 기생 성분을 나타낸 그림이다. MOSFET의 기생성분과 게이트 저항을 이용하여 스위칭주파수를 계산할 수 있다. 이때 계산에 필요한 값은 데이터 시트로부터 얻을 수 있다. 그림 3은 MOSFET의 일반적인 특징이다. MOSFET의 입력 캐패시터 C_{iss} 와 V_{gs} 를 이용하여 그림 3의 각 구간에서의 시간을 구할 수 있다. V_{GS} 는 게이트와 소스 사이의 피크 전압, V_{GP} 는 밀러 플레토(Miller plateau) 전압, V_F 는 기생 다이오드의 순방향 전압이다.

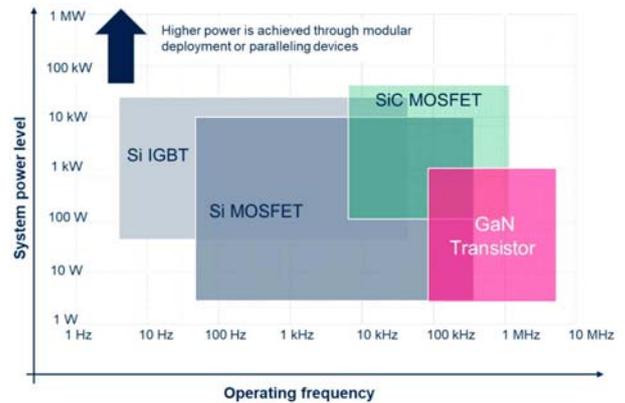


그림 1 트랜지스터별 전력 및 주파수 비교[1]

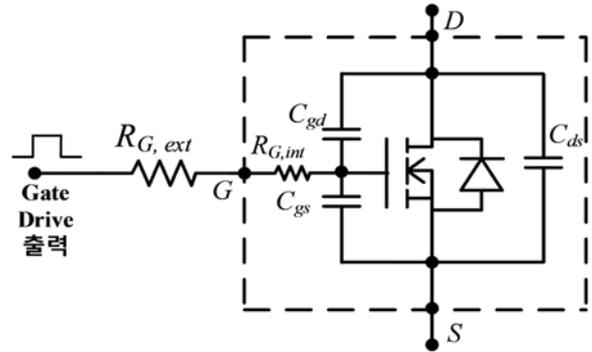


그림 2 MOSFET의 기생 성분

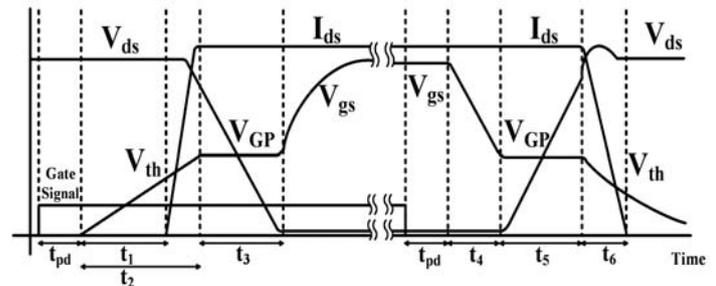


그림 3 MOSFET의 On/Off 파형

$$C_{iss} = C_{gd} + C_{gs} \quad (1)$$

$$V_{gs} = V_{GS} \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{G,int} \cdot C_{iss}}} \right) \quad (2)$$

하지만 모든 데이터 시트에 밀러 플레토 전압과 문턱 전압이 제공되지 않는 수 있다. 이 경우, 드레인 전류, 게이트-소스 전압, 그리고 부하 전류를 이용하여 식 (3)~(5)를 통해 문턱 전압과 밀러 플레토 전압을 계산할 수 있다[2].

$$V_{th} = \frac{V_{gs1} \cdot \sqrt{I_{D2}} - V_{gs2} \cdot \sqrt{I_{D1}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}} \quad (3)$$

$$K = \frac{I_{D1}}{(V_{gs1} - V_{th})^2} \quad (4)$$

$$V_{GP} = V_{th} + \sqrt{\frac{I_{load}}{K}} \quad (5)$$

이때 K 는 MOSFET가 포화 영역(Saturation region)에 있을 때의 전류와 전압의 관계를 나타내는 진도 상수이다. 각각의 시간 구간들은 그림 3의 MOSFET의 스위칭 특성을 나타낸 식으로 데이터 시트의 값을 이용하여 구할 수 있다[3].

$$t_1 = (R_{G,int} + R_{G,ext})(C_{gs} + C_{gd}) \ln \left(\frac{V_{GS}}{V_{GS} - V_{th}} \right) \quad (6)$$

$$t_2 = (R_{G,int} + R_{G,ext})(C_{gs} + C_{gd}) \ln \left(\frac{V_{GS}}{V_{GS} - V_{GP}} \right) \quad (7)$$

$$t_3 = \frac{(V_{DS} - V_F)(R_{G,int} + R_{G,ext})C_{gd}}{V_{GS} - V_{GP}} \quad (8)$$

$$t_4 = (R_{G,int} + R_{G,ext})(C_{gs} + C_{gd}) \ln \left(\frac{V_{GS}}{V_{GP}} \right) \quad (9)$$

$$t_5 = (R_{G,int} + R_{G,ext})C_{gd} \ln \left(\frac{V_{DS} - V_F}{V_{GP}} \right) \quad (10)$$

$$t_6 = (R_{G,int} + R_{G,ext})(C_{gs} + C_{gd}) \ln \left(\frac{V_{GP}}{V_{th}} \right) \quad (11)$$

이제 각 구간 식을 이용해서 해당 MOSFET를 해당 게이트 드라이버로 구동했을 때의 최대 스위칭주파수를 근사적으로 계산하면, 최대 스위칭주파수를 나타낸 식은 아래와 같다.

$$f_{max} = \frac{D_{loss}}{t_{pd} + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6} \quad (12)$$

D_{loss} 는 유효 듀티 손실로서 turn on/off 게이트 신호를 받고 MOSFET이 실제로 완전히 turn on/off 하기까지 걸리는 최소 시간을 듀티로 나타낸 것이다. t_{pd} 는 게이트 드라이버에서부터 게이트까지 신호가 전달되는 지연 시간이다.

3. 시뮬레이션

MATLAB을 이용하여 여러 게이트 드라이버의 최대 스위칭 주파수를 식 (3)~(12)을 이용하여 데이터 시트의 값과 비교해 보았다. 이때 사용된 게이트 드라이버는 CREE사의 CGD15HB62P1, AgileSwitch사의 62EM1, SKYPER사의 SKYPER 32 R이고, 사용된 MOSFET는 Wolfspeed사의 CAS300M12BM2로 동일하였다. 대부분의 변수는 게이트 드라이버의 데이터 시트로부터 얻을 수 있으나, 일부 데이터 시트에

표 1 게이트 드라이버 파라미터

Parameter	SKYPER SKYPER 32 R	CREE CGD15H B62P1	AgileSwitch 62EM1	단 위
V_{GS}	16	35	25	V
V_{DS}	1700	1200	1200	V
$R_{G,ext}$	1.5	10	1.1	Ω
t_{pd}	1100	300	250	ns
D_{loss}	0.1	0.1	0.2	-

표 2 데이터 시트를 이용한 최대 스위칭 주파수

최대 스위칭 주파수[kHz]	상용 게이트 드라이버		
	SKYPER SKYPER 32 R	CREE CGD15H B62P1	AgileSwitch 62EM1
Datasheet	50	64	200
Calculation	60.47	67.14	327.33

없는 밀러 플레토 전압과 문턱 전압의 경우 간접적인 방법으로 구했으며, D_{loss} 의 정보를 데이터 시트로부터 찾을 수 없는 경우 일반적인 값인 0.01을 사용하였다. 시뮬레이션 결과, 최대 스위칭 주파수가 낮은 경우 데이터 시트와 시뮬레이션의 차이가 크게 나지 않았지만, 최대 스위칭 주파수가 높은 경우 큰 차이가 발생했다. 최대 스위칭 주파수는 많은 변수와 비선형적인 특성에 영향을 받기 때문인데, 향후 고속 스위칭 애플리케이션에서의 게이트 드라이버 선택 시 추가적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 MOSFET의 높은 스위칭 속도를 효과적으로 활용하기 위해 근사적인 동작주파수 식을 제안하였다. 충분한 정보가 주어진다면, 최대 스위칭주파수를 정확하게 예측할 수 있다. 예측을 더욱 정확하게 하기 위해 비선형 특성 분석과 게이트 드라이버의 최적화 설계 연구 등을 추후 진행할 예정이다.

본 연구는 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업 (2021RIS-003)의 결과물입니다.

참고 문헌

- [1] B.J. Baliga, Silicon Carbide Power Devices. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.: Singapore, 2005.
- [2] Instruments, Texas. "Estimating MOSFET Parameters from the Data Sheet." Application Note (2002).
- [3] Brown, Jess, "Power MOSFET basics: Understanding gate charge and using it to assess switching performance." Vishay Siliconix, AN608 153 (2004): 1-6.1