

# 브릿지형 컨버터의 게이트 구동회로 노이즈 분석 및 모델링

안정훈, 김윤성, 구근완, 이병국  
성균관대학교 정보통신공학부

## The Effect of Parastic Elements on Gate Driver of Bridge-Type Converter

Jung Hoon Ahn, Yun Sung Kim, Keun Wan Koo, Byoung Kuk Lee\*  
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문은 브릿지형 컨버터에 존재하는 기생성분이 게이트 구동에 미치는 영향을 분석한다. 다양한 기생성분과 입출력 사양에 따라 게이트 구동을 저해하는 EMI의 크기가 어떻게 변하는지 그 관계를 밝힌다. 이론적 분석을 통하여 시뮬레이션 모델을 구축하고, 실험을 통하여 타당성을 증명한다.

### 1. 서론

최근 신재생에너지와 친환경 자동차에 대한 관심은 전력전자의 적용범위의 확대와 다양한 입출력조건에 전력변환장치의 필요를 낳았다. 특히, EV를 위한 탑재형 충전기의 경우 넓은 입출력전압범위와 전력변동사양을 갖으며 동시에 높은 신뢰성이 요구된다. 하드웨어적 측면에서 시스템의 신뢰성을 저해하는 가장 큰 위협은 반도체소자의 고속 스위칭과 각종 기생성분 때문에 발생하는 EMI 노이즈이다. 이 EMI 노이즈는 전력변환장치의 게이트 구동에 오동작이나 단락사고를 일으킬 수 있기 때문에 엄격한 통제가 필요하다. 특히, 출력 전력이 증가할수록 게이트 구동회로에 잔류하는 EMI 노이즈의 크기는 함께 증가되는데, 6.6kW급 탑재형 충전기를 비롯하여 고전력 전력변환장치의 수요가 더욱 증가하고 있는 상황에서 이에 대한 분석 없는 신뢰성 있는 전력변환장치를 기대할 수 없다<sup>[1]</sup>. 하지만, 회로상의 기생성분들은 모두 고려하기 힘들 만큼 다양하며, 문제 상황의 메커니즘은 이 기생성분들을 포함하여 복잡해지기 때문에 기존 연구는 이론적인 분석보다는 주로 경험적인 지식에 의존하였다. 그러나 게이트 구동에 영향을 미치는 EMI 노이즈의 변화 추이를 예상하여 대응하고 저감하기 위해서는 그 메커니즘에 대한 이론적 분석이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 수학적 분석과 시뮬레이션 모델링 그리고 실험을 통하여 이러한 필요에 대응하는 답을 제시한다.

### 2. 게이트 구동회로 불요 노이즈 발생 메커니즘

표 1 기생 파라미터 분류

전원 라인	$L_{stray(MOSFET)}, L_{stray(main\ line)}, C_{OSS}$
신호 라인	$L_{stray(signal)}, L_{stray(GND)}, C_{iss}$
상대 효과	주요파워소자와 바로 연결된 기생성분 무시

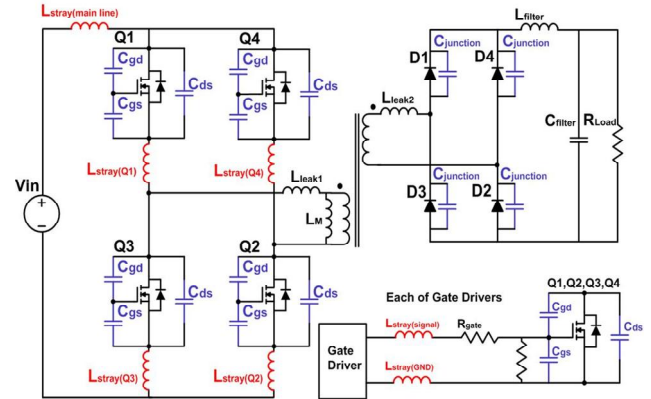


그림 1 기생성분을 포함한 브릿지형 컨버터 대표 등가모델

게이트 구동회로에 영향을 주는 EMI 노이즈의 발생 메커니즘 분석을 위하여 다양한 기생성분들을 표 1과 같이 세 종류로 분류하여 간략화 할 수 있다. 변압기나 누설 인덕턴스나 자화 인덕턴스 그리고 MOSFET의  $R_{ds(on)}$  등 파워소자의 전기적 파라미터는 PCB나 부속소자의 기생 값보다 상대적으로 크기 때문에 직접 연결된 모든 기생성분은 근사적으로 무시 가능하다. 또한, 분기 되지 않는 두 노드를 지나는 경로에 직렬로 연결된 모든 기생성분은 하나로 합성하여 등가화 할 수 있다. 이러한 축약과정을 통하여 그림 1은 의미 있는 기생성분을 모두 포함한 가장 간략화 된 등가 회로를 보여준다. 이때, 게이트 구동에 영향을 주는 전체 노이즈는 첫째, 전원 라인의 기생성분에 의한 노이즈와 둘째, 신호 라인의 기생성분에 의한 노이즈의 중첩으로 분할하여 분석 할 수 있다.

신호라인의 기생성분에 의한 구동회로 노이즈는 PCB의 부유 인덕턴스가 높을 경우 오버슈트를 동반하는 RLC 직렬회로의 부족감쇠 계단응답을 따른다. 이 경로에는 대전류가 흐르지 않기 때문에 부하의 크기에 독립적인 반면에 입력전압의 크기에 따라  $C_{iss}$ 가 감소하기 때문에 노이즈의 크기는 입력전압이 커질수록 감소하는 특징을 갖으며, 아래의 수식으로 결정된다.

$$v'_{GS}(t) = V_{G,driver} - V_{G,driver} e^{-\alpha t} (\cos w_d t - \frac{\alpha}{w_d} \sin w_d t) \quad (1)$$

$$where \alpha = \frac{R_{gate}}{2L_{stray}}, w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{stray} C_{iss}}}, w_d = \sqrt{|\alpha^2 - w_0^2|}$$

Full Bridge Type Converter  
: The Effect of Parasitic Characteristics on Gate Driver

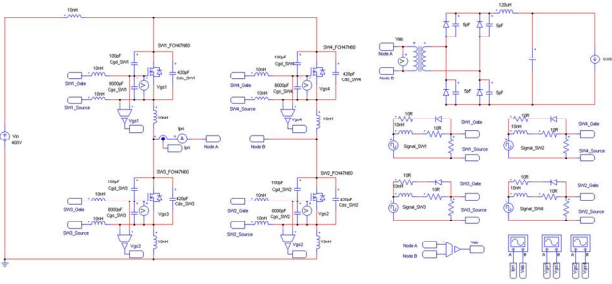
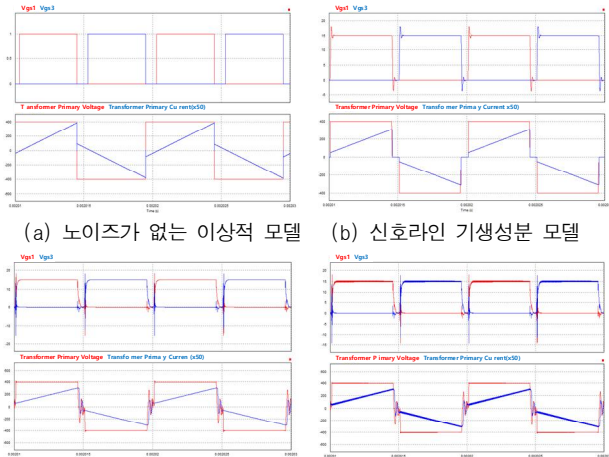


그림 2 시뮬레이션 모델 Schematic (PSIM)



(a) 노이즈가 없는 이상적 모델 (b) 신호라인 기생성분 모델  
(c) 전원라인 기생성분 모델 (d) 실제적인 모델  
그림 3 시뮬레이션 파형

전원라인의 기생성분에 의한 구동회로 노이즈는 MOSFET의  $C_{oss}$ 와 PCB의 부유인덕턴스 혹은 변압기의 누설인덕턴스와의 공진현상 및  $C_{oss}$ 와  $R_{ds(on)}$  그리고 부유인덕턴스의 RLC 부족감쇠 계단응답으로 인한 오버슈트가 중첩되어 나타난다. 따라서 이 노이즈는 입력전압과 부하량 그리고  $C_{oss}$ 의 크기에 비례하여 커지기 때문에 고전력 고전압 시스템에서 더욱 크게 발생한다. 관련된 수식은 식 (2), 식 (3)과 같이 표현된다.

$$v'_C(t) = V_{dc} - V_{dc}e^{-\alpha t} (\cos w_d t - \frac{\alpha}{w_d} \sin w_d t) \quad (2)$$

$$\text{where } \alpha = \frac{R_{ds(on)}}{2L_{stray}}, w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{stray} C_{oss}}}, w_d = \sqrt{|\alpha^2 - w_0^2|}$$

$$v''_C(t) = V_{dc} - (V_{dc} - V_{Co}) \cos w_o(t) + Z_o I_{Lo} \sin w_o(t)$$

$$\text{where } Z_o = \sqrt{\frac{L_{stray}}{C_{oss}}}, w_o = \frac{1}{\sqrt{L_{stray} C_{oss}}}$$

(3)

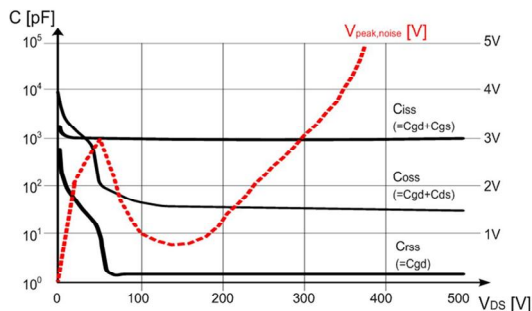


그림 4 인가전압에 따른 기생 커패시턴스 및 노이즈 변화 곡선

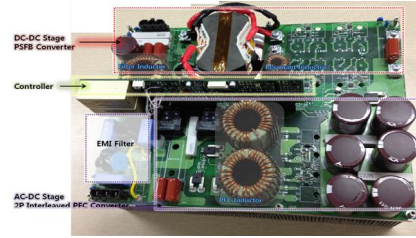
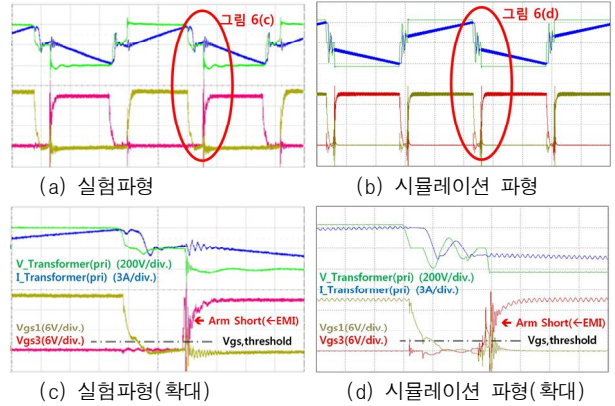


그림 5 6.6kW 탭재형 충전기 시료



(a) 실험파형 (b) 시뮬레이션 파형  
(c) 실험파형 (확대) (d) 시뮬레이션 파형 (확대)  
그림 6 실험파형과 시뮬레이션 모델 비교

그림 4는 입력전압의 변화에 따른 기생커패시턴스 및 게이트 노이즈의 크기곡선을 보여준다. 입력전압이 증가하는 일부 구간에서  $C_{oss}$ 는 급격하게 감소하기 때문에 노이즈의 최대 크기 곡선은 입력전압에 정비례하지 않고, 변곡점이 존재한다.

분석된 결과와 그림 1의 등가모델을 바탕으로 그림 2와 같이 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 이 모델을 통하여 그림 3(a)의 이상적인 동작에서부터 단계별로 노이즈를 중첩시켜 그림 3(d)의 최종 파형을 얻었다. 이 모델의 타당성을 위하여 실험 시료로 그림 5의 6.6kW급 탭재형 충전기에 들어가는 DC DC 컨버터를 선정하고, 그림 6의 결과를 통하여 실제 실험결과에 준하는 EMI 노이즈가 구현된 것을 확인하였다. 동시에 게이트 구동회로의 EMI 노이즈가 암 단락의 위험성을 증가시킨다는 점을 확대파형을 통하여 재확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 게이트 구동에 심각한 오류를 일으킬 수 있는 스위칭 노이즈의 발생 메커니즘을 이론적으로 분석하여 시뮬레이션 모델을 구축하고, 실제 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 이 연구 모델을 통하여 각각의 파라미터와 입력력 조건에 따른 노이즈 분석이 가능하며, 고전력 고전압 전력변환장치의 신뢰성 향상을 위한 연구에 기여 할 것으로 기대된다.

### Acknowledgement

본 연구는 지식경제부의 재원으로 수행된 산업원천기술개발사업 (No. 10039318 2012 12)의 연구결과입니다.

### 참고 문헌

[1] Lei Xing, Jian Sun "Optimal Damping of Multistage EMI Filters", Smart Grid, IEEE Transaction on, Vol. 27, No.