

동기 정류 방식을 적용한 계통 연계형 단상 인버터의 손실 저감 방법

이승태¹, 이승주¹, 김학원¹, 조관열¹
한국교통대학교 제어계측공학과 전력전자연구실¹

Loss Reduction Method of Single-phase Grid-connect Inverters with Synchronous Rectification

Seung Tae Lee¹, Seung Ju Lee¹, Hag Wone Kim¹, and Kwan Yuhl Cho¹
Korea National University of Transportation¹

ABSTRACT

본 논문에서는 Common Mode Noise가 저감된 계통연계형 단상인버터에서 파워 소자의 도통손실을 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 단상인버터의 (+)양의 구간과 (-)음의 구간의 전류 회생모드 시 MOSFET 소자를 turn on 시키는 동기 정류 방식을 사용하여 손실을 저감한다. 제안한 방법의 효용성을 PSIM 모의해석을 통하여 입증 하였다.

1. 서 론

최근 대체 에너지 발전 시스템의 사용이 증가함에 따라 고효율의 단상 인버터의 요구가 증대되고 있다. 고효율의 인버터 설계를 위해서 PWM방식에 대한 검토 및 적절한 파워 소자 선정이 중요하다.

계통 연계형 단상인버터는 회로 및 스위칭 방식에 따라 공통 모드 전압(CMV : Common Mode Voltage)이 발생되어 공통 모드 전류(CMC : Common Mode Current)를 유발한다. CMC는 누설전류를 일으켜 시스템의 안정성을 저하시키고, 제어시스템에 악영향을 주는 EMI(Electronic Magnetic Inference)의 원인으로 작용한다. CMV를 저감하기 위해 논문 [1]에서는 (+)양의 구간과 (-)음의 구간에서 단상 전원의 중성(Neutral) 전원단에 연결된 좌측 스위치 S_1, S_2 입력 전원에 따라 한 축에 고정시켜 전류(Commutation)을 행하고, 활성(Live) 전원단에 연결된 우측 스위치 S_3, S_4 는 PWM 주파수로 스위칭한다. 동작원리는 Fig. 1 과 같고, 이 스위칭 방법으로 CMV는 스위치 주파수와 상관없이 (+)양의 구간에서 0V로 (-)음의 구간에서 V_{dc} 로 유지시킴으로서 문제를 해결하였다.

논문[2]에서는 이와 같은 PWM 방식을 바탕으로 IGBT와 MOSFET를 적절히 결합하여 스위치 손실을 줄이는 방법을 제안 하였다. 상용 단상 전원의 레퍼런스인 60Hz로 상보적인 스위칭으로 구동하는 중성 전원단에 연결된 좌측 스위치 S_1, S_2 는 스위칭(Switching) 시간이 길어도 상관없는 IGBT 소자를 사용하여 상대적으로 도통 손실(conduction loss)을 저감하고, 높은 주파수로 구동되는 활성(Live) 전원단에 연결된 우측 스위치 S_3, S_4 는 MOSFET를 사용하여 상대적으로 스위칭 (switching) 손실을 줄이는 방법을 제안하였다. 이러한 소자 배치를 통하여 스위치의 총 손실(total loss)를 저감 하였으며, 소자 배치는 Fig. 2와 같다.

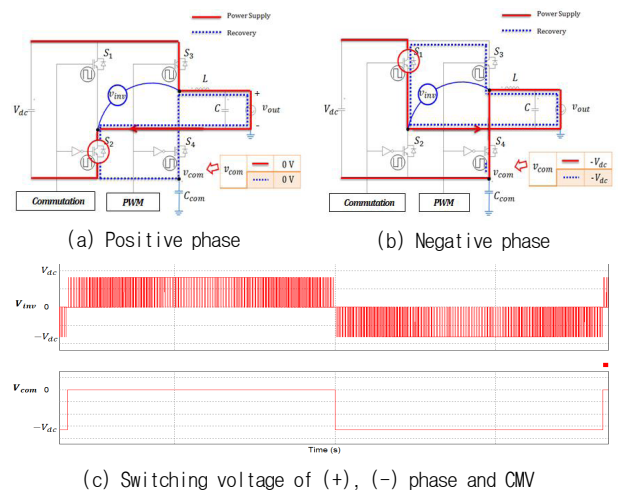


Fig. 1. Common mode noise reduction PWM method

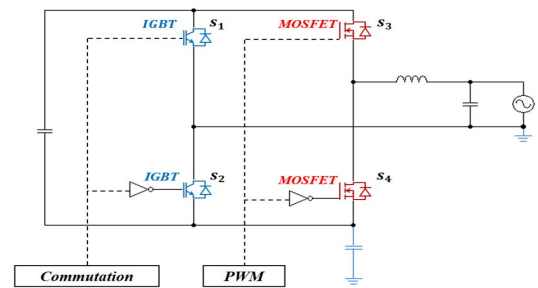


Fig. 2. Power device position of inverter

2. 본 론

2.1 동기 정류를 적용한 손실 저감

일반적으로 MOSFET, IGBT와 같은 전력용 소자는 다이오드를 역병렬로 갖고 있다. MOSFET 또는 IGBT는 구동 신호에 따라 ON/OFF하여 인덕터로 공급하는 에너지를 조절하는 역할을 하고, 다이오드는 인덕터와 부하 사이에 전류루프를 만들어 인덕터의 에너지를 부하에 공급하기 위한 정류 동작을 실행한다. 이 다이오드 정류동작을 트랜지스터가 대신 실행할 수 있으며, 전류가 다이오드를 통해 흘러갈 때 다이오드 대신 트랜지스터로 전류를 흐르도록 스위칭을 켜 주는 방식이 동기 정류 방식이다.

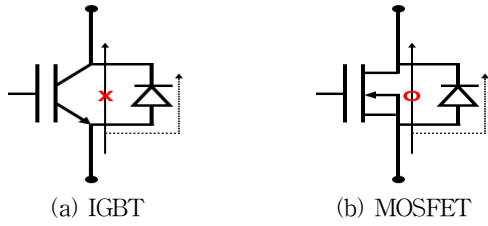


Fig. 3. Inverse current flow of IGBT and MOSFET

하지만, 트랜지스터의 역방향으로 전류를 흘려주어야 하기 때문에, 역전류를 흘릴 수 없는 IGBT 소자에는 적용하지 못한다. MOSFET의 경우, 역방향 전류를 흘릴 수 있으므로 동기정류 방법을 사용하여 손실을 줄일 수 있다. 역전류가 흘러가는 경로는 Fig. 3과 같다.

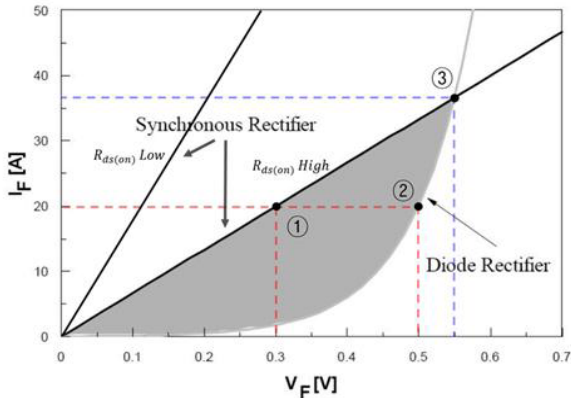


Fig. 4. Forward voltage comparison between synchronous rectification and diode rectification

Fig. 4는 MOSFET를 통해 역전류가 흐를 때의 전류 및 전압을 나타낸 그림이다. 20A의 전류를 흘리기 위해서 다이오드 정류 방식은 ②번 위치의 전압강하와 전력 손실이 발생하게 된다. 반면, 동기 정류 방식은 ①번 위치와 같이 다이오드 정류 방식에 비해 낮은 전압 강하하므로도 20A의 전류를 흘릴 수 있어 손실을 줄일 수 있다. 하지만 전류가 커지면서 그 효과는 줄어들게 되고, ③번 위치를 지나면서부터 그 효과는 반감되기 시작한다. 그리고 $R_{ds(on)}$ 이 낮아수록 효과는 더욱 증대하게 된다. (+)양의 구간과 (-)음의 구간의 전류 회생모드 시 PWM lag부분에 동기정류 방식을 적용시켜 손실 저감을 제한한다.

2.2 시뮬레이션

PSIM simulation을 통하여 다이오드 정류 방식과 동기 정류 방식의 손실을 비교한 그래프로 손실 비교는 부하별 0.5 kW, 1 kW, 1.5 kW, 2 kW, 2.5 kW에서의 손실을 비교하였다. 0.5 kW일 때 낮은 전류(약 2A)가 흐른다. 낮은 전류가 흐르면 다이오드정류방식과 동기정류방식의 전력 손실 차이가 거의 없고, 2.5 kW는 보다 높은 전류(약 12A)가 흘러 특성그래프에서 비교해보면 동기정류방식이 다이오드정류방식보다 전력손실이 적음을 알 수 있다. 시뮬레이션으로 확인한 결과, 부하가 높아짐에 따라 총 손실이 차이가 커지는 것을 확인 할 수 있었고, 손실 저감을 위해서 다이오드정류방식을 사용하는 것 보다 동기 정류를 사용하는 것이 효과적이다.

Table 1 Single phase PWM inverter parameters

Item	Value	
DC Link Voltage	350 [V]	
Grid Voltage	220 [V_{rms}], 60 [Hz]	
Switching Frequency	Commutation lag 60 [Hz] PWM lag 15 [kHz]	
Filter Inductor, ESR	1 [mH], 0.8 [Ω]	
Filter Capacitor	1.5 [μ F]	
Parasitic Capacitance	1000[pF]	
IGBT	Turn-on Delay Time	32 [ns]
	Turn-off Delay Time	790 [ns]
	$V_{CE(sat)}$	1.5 [V]
MOSFET	Turn-on Delay Time	52 [ns]
	Turn-off Delay Time	213 [ns]
	$R_{DS(on)}$	28 [$m\Omega$]

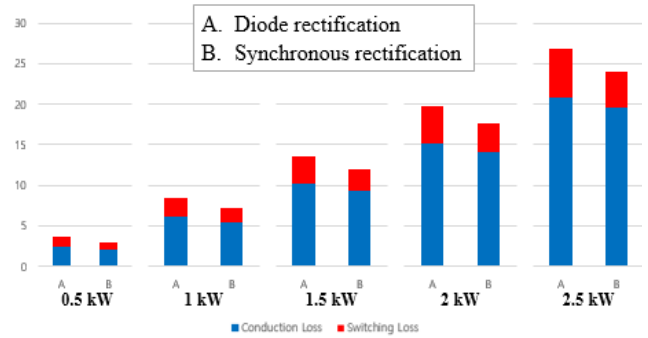


Fig. 5. Total loss comparison

3. 결론

본 논문에서는 계통연계형 단상인버터에서 파워 소자의 도통손실을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. IGBT 소자에서는 역전류를 흘려줄 수 없어 동기정류방식을 적용할 수 없고, MOSFET는 역전류를 흘려줄 수 있으므로 동기정류방식을 적용 할 수 있다. PWM구간에 동기정류방식을 적용시켜 부하가 낮을 때보다는 점점 커질수록 다이오드 정류방식을 사용하는 것보다 동기정류방식을 사용하는 것이 전력 손실이 상대적으로 적다는 것을 알 수 있었고, 시뮬레이션 결과로 계통연계형 단상인버터의 손실 저감을 입증하였다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO. 20164030201100)

참고 문헌

- [1] H. W. Kim, S. J. Lee, C. P. Hong and K. Y. Cho, "A Switching method of single phase grid connected inverter for common mode noise reduction" Journal of Power Electronics, vol, 21, No, 1, pp. 27-33 2016, February
- [2] J. U. Lee, S. J. Lee, H. W. Kim and K. Y. Cho, "Select Power Device for Reduction of Switching loss In Single Phase Grid Connected Inverter" The Korean Institute of Power Electronics, pp. 165-166, 2016, July.