

# 단상 풀-브릿지 인버터의 모듈레이션 방법에 따른 누설전류 비교

이준현, 이원빈, 김요나, 조영훈  
 건국대학교 전력전자 연구실

## Comparison of Leakage Current according to Modulation Method of Single-Phase Full Bridge Inverter

Junhyun Lee, Wonbin Lee, Yona Kim, Younghoon Cho  
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

### ABSTRACT

최근 전력품질 향상을 위해 계통전류에 대한 THD 규제가 강화되고 있음에 따라 THD와 누설전류의 개선 문제가 대두되고 있다. 단상 계통연계형 ESS에서는 흔히 인버터와 DC DC컨버터를 사용하여 배터리를 충 방전 하는데, 이때 단상 인버터의 대지누설전류 또한 개선이 필요하다. 단상 인버터의 누설전류는 모듈레이션 방식을 변경함에 따라 차이가 나타난다. 따라서 본 논문에서는 단상 풀 브릿지 인버터의 유니폴라(Unipolar) 모듈레이션과 바이폴라(Bipolar) 모듈레이션 방법에 따른 누설전류의 크기를 PSIM을 통한 시뮬레이션과 실험을 통하여 비교 분석하였다.

### 1. 서론

과거에는 전력 및 가스의 유틸리티가 전력사업의 주 무기로서 업체들이 일방적으로 생산해서 소비자들에게 공급하였으나, 분산발전과 ICT기술이 발전한 현대에서는 에너지 프로슈머가 등장함에 따라 공급자와 수요자사이의 구분이 애매하게 되었다.<sup>[1]</sup> 이렇게 ESS가 많은 사람들에게 주목을 받게 되면, 그 효율과 안정성을 높이는 것은 더욱더 중요한 문제가 된다. 누설전류는 인버터의 효율을 저하할 뿐만 아니라, 감전사고등 안전성면에서의 문제를 일으킬 수 있으므로, 가능한 작은 크기를 갖도록 제어할 필요가 있다.

똑같은 회로로 구성되어 있는 ESS라도, 제어하는 방식에 따라서 사용자가 원하는 조건을 만족하게 할 수 있다. 본 논문에서는 풀 브릿지 인버터를 유니폴라(Unipolar) 모듈레이션과 바이폴라(Bipolar) 모듈레이션 두 가지의 구동방법의 경우에 각각의 누설전류의 RMS를 측정한다. PSIM을 이용하여 시뮬레이션 결과 값을 도출해낸 뒤에, 실제 회로를 구현하여 실험을 통하여 확인해 보았다.

### 2. 본론

#### 2.1 풀 브릿지 인버터

본 논문에서 실험 및 시뮬레이션에서는 단상 풀 브릿지 인버터를 사용하였으며, 그 형태는 [그림 1]과 같다. 풀 브릿지 인버터 제어를 위해 바이폴라, 유니폴라 모듈레이션 두 가지 방법을 이용하였으며, 모듈레이션 방법에 따른 인버터 출력 전압은 표 1, 표 2 와 같다.

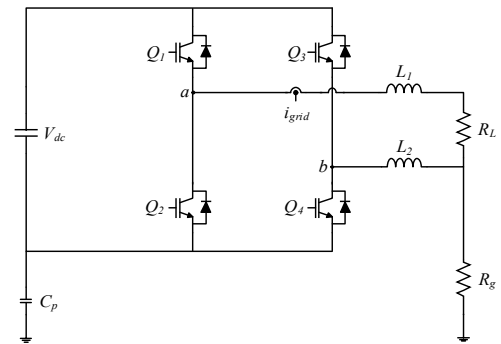


그림 1 단상 풀-브릿지 인버터 토폴로지  
 Fig 1 Single-phase full-bridge inverter topology

표 1 바이폴라 모듈레이션의 아웃풋 레벨

Table 1 Output level of bipolar modulation

Q1	Q2	Q3	Q4	Va	Vb	Vab
1	0	0	1	Vdc	0	Vdc
0	1	1	0	0	Vdc	Vdc

표 2 유니폴라 모듈레이션의 아웃풋 레벨

Table 2 Output level of unipolar modulation

Q1	Q2	Q3	Q4	Va	Vb	Vab
1	0	0	1	Vdc	0	Vdc
0	1	1	0	0	Vdc	Vdc
1	0	1	0	Vd	Vd	0
0	1	0	1	0	0	0

바이폴라 모듈레이션은 Q1, Q4 그리고 Q2, Q3가 한 쌍으로 동작을 한다. 이 경우, a레그의 출력 전압과, b레그의 출력 전압은 서로 반대 부호가 나온다. 바이폴라 모듈레이션의 스위치 상태 별 아웃풋 레벨은 표1 과 같이 2 Level 의 출력 전압을 가진다.

유니폴라 모듈레이션은 바이폴라 모듈레이션과는 달리 스위치들이 동시에 동작되지 않는다. 일반적으로 같은 크기와 주파수를 가지지만, 위상이 180도 차이는 2개의 사인파와 삼각파를 비교하면서 어느 스위치가 작동될지 결정된다. 유니폴라 모듈레이션의 스위치 상태 별 아웃풋은 표2 같이 3 Level 의 출력 전압을 가진다.

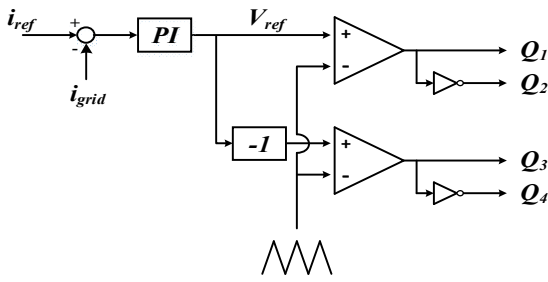


그림 2.a 유니폴라 모듈레이션  
Fig 2. a Unipolar Modulation

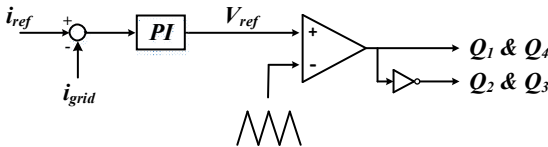


그림 2.b 바이폴라 모듈레이션  
Fig 2.b Bipolar Modulation

### 3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 [그림 1]의 회로를 PSIM으로 구현하였으며, 시뮬레이션 파라미터는 표 3과 같다. 2kW 조건에서 유니폴라와 바이폴라 모듈레이션 각각 시뮬레이션을 진행하였고, 모듈레이션 방법에 따른 누설전류 파형은 [그림 3] 과 같다.

표 3. 인버터 소자의 파라미터

Table 3. Simulation element parameter

L1	1.0mH	Rl	12Ω
L2	1.0mH	Rg	20Ω
Cp	220nF	Vdc	400V

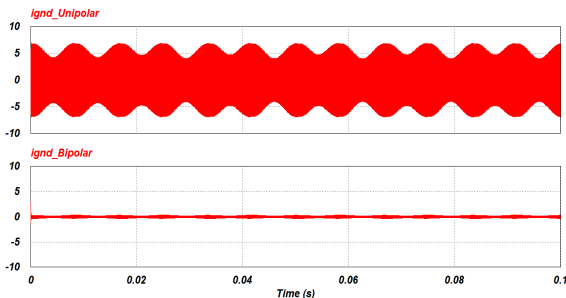


그림 3. 풀브릿지 모듈레이션에 따른 누설전류 실험파형 비교  
Fig 3. Comparison of waveform of Ground leakage current for each Full-bridge inverter modulation

시뮬레이션을 통하여 모듈레이션 방법에 따른 누설전류의 크기를 비교해 보았으며, 시뮬레이션과 동일한 조건을 구현한 실험을 통해 모듈레이션 방법에 따른 누설 전류의 크기를 확인해 보았다.

### 4. 실험

시뮬레이션과 동일한 인버터 파라미터를 사용하여 실험을 진행하였으며, 실험 결과는 그림 4, 5와 같다. 실험 결과 모듈레이션 방법에 따라 RMS의 크기가 약 95 % 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

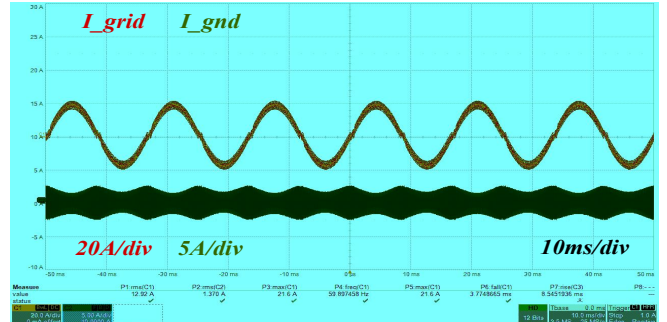


그림 4. 실제 풀-브릿지 인버터를 통해 구한 유니폴라모듈레이션 파형  
Fig 4. Experimental waveform of Leakage current in Full-bridge(unipolar)

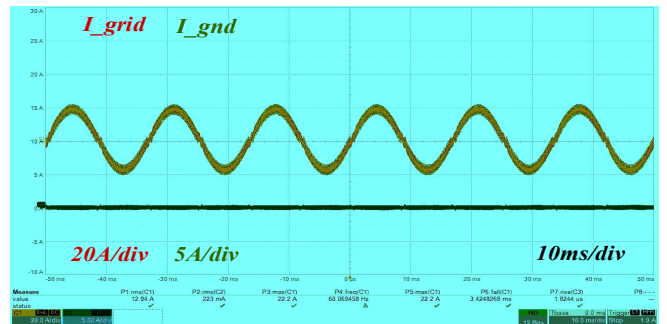


그림 5. 실제 풀-브릿지 인버터(바이폴라)를 통해 구한 파형  
Fig 5. Experimental waveform of Leakage current in Full-bridge (bipolar)

표 3. 시뮬레이션, 실험의 모듈레이션 별 누설전류 RMS

Table 3. Leakage current for each modulation from simulation and experimental set

	누설전류 RMS (시뮬레이션)	누설전류 RMS (실험결과)
유니폴라	3.97A	1.370A
바이폴라	0.194A	0.223A

### 5. 결론

본 논문에서는 PSIM 시뮬레이션과 실제 회로를 구성한 실험을 통해 단상 풀 브릿지 인버터의 모듈레이션 방법에 따른 누설전류의 실효값을 비교해 보았으며, 모듈레이션 방법에 따라 누설 전류의 크기가 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 다음 연구에서는 풀 브릿지 인버터 이외의 토폴로지에 대한 대지 전류 시뮬레이션을 진행하고, 실제 실험을 통해 인버터 토폴로지에 따른 누설전류의 크기를 확인하고자 한다.

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 산업연계 교육활성화 선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

### 참고 문헌

[1] 허준혁. (2017). [해외]전력산업동향] 글로벌 전력산업의 패러다임 변화 (II)\_과격적 혁신의 시대. 전기저널, 486, 24-29.