

## 태양광 인버터 회로구조에 따른 누설전류 비교

윤한중, 조영훈, 최규하  
 건국대학교 전력전자연구소

### Comparison of Leakage Current in Various Photovoltaic Inverter Topologies

Hanjong Yoon, Younghoon Cho, Gyu-ha Choe  
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

#### ABSTRACT

In low-power grid-connected photovoltaic(PV) system, Single-phase transformerless full-bridge inverter is commonly used. However in transformerless photovoltaic application, the ground parasitic capacitance created by grounding between PV panels and ground. This ground parasitic capacitance inject additional current into the inverter, these currents cause electromagnetic interference problem, safety problem and harmonics problem in PV applications. In order to eliminate the ground current, This paper propose various inverter topologies in PV applications. These proposed inverter topologies are verified through simulation using PSIM.

#### 1. 서론

신재생에너지가 가정으로 확대되는 전망을 보이면서 가정용으로 적합한 가볍고 부피가 작은 소형 사이즈의 무변압기형 단상 PV인버터의 수요가 증가할 것으로 예상된다.<sup>[1]</sup> 하지만 실제 PV셀과 PV패널 사이에는 기생 커패시턴스가 존재하여 무변압기형 계통연계형 PV 단상 풀브릿지 인버터에서 PV 패널에 접지를 하게 되면 기생 커패시턴스로 인해 전체 시스템과 대지 사이에 순환전류(이하 대지전류)가 흐른다.<sup>[2]</sup> 이 대지전류는 인버터의 효율을 감소시키고, EMI와 안전성 측면에서의 문제를 야기하지만 인버터의 토폴로지를 변경하거나 모듈레이션 방식을 변경함으로써 대지전류를 크게 줄일 수 있다.<sup>[2]</sup> 본 논문에서는 PSIM 시뮬레이션을 통하여 단상 인버터 풀브릿지(유니폴라 모듈레이션), 풀브릿지(바이폴라 모듈레이션), 듀얼벅, H5, HERIC, TNPC 토폴로지를 각각 전력(3kW, 4kW, 5kW, 6kW)에 따라 계통전류 THD, 대지전류 RMS 값을 비교했다.

#### 2. 인버터 토폴로지

본 논문에서 연구한 단상 인버터 토폴로지는 (a)풀브릿지, (b)듀얼벅, (c)H5, (d)HERIC, (e)TNPC이다. (a)의 풀브릿지 토폴로지는 유니폴라 모듈레이션과 바이폴라 모듈레이션으로 나누어 비교했다. 각 토폴로지의 회로 해석 및 분석은 참고문헌을 통해 확인할 수 있다.<sup>[3]</sup>

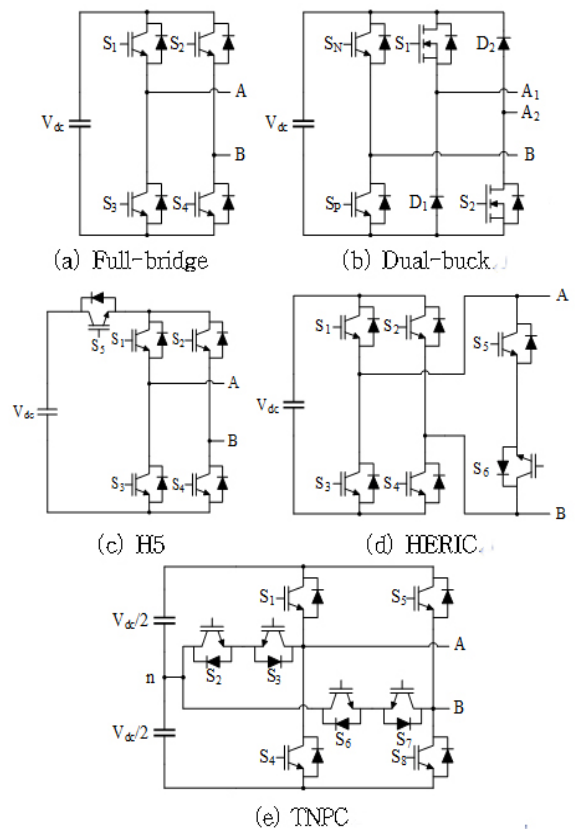


그림 1 단상 PV인버터 토폴로지  
 Fig. 1 Single-Phase PV Inverter topology

#### 3. 시뮬레이션 결과

표 1 인버터 제정수  
 Table 1 Values of the inverter parameters

|     |        |     |       |
|-----|--------|-----|-------|
| Vdc | 360VDC | Cp  | 100nF |
| L1  | 400uH  | L2  | 400uH |
| Lg  | 200uH  | Cf  | 2.2uF |
| Ls1 | 100uH  | Ls2 | 100uH |
| Rg  | 10Ω    | Rf  | 1Ω    |

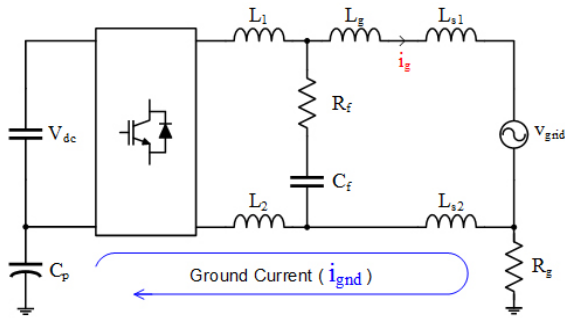


그림 2 시뮬레이션 회로도  
Fig. 2 Schematics for simulation

그림2과 표1은 시뮬레이션에 사용한 시스템을 간략하게 나타내고 있다. 그림2의 인버터 부분에 풀브릿지, 듀얼벅, H5, HERIC, TNPC가 각각 들어가서 결과를 도출한다. 다만 듀얼벅의 경우  $L_2$ 의 위치가 그림1(b)의  $A_2$ 에 연결되며, 그 외에는 모두 동일하다. 필터는 LCL필터를 사용하였으며,  $C_f$ 에 직렬로 삽입된  $R_f$ 는 LC공진을 억제하는 저항이다.<sup>[2]</sup> PI전류 제어기를 기본으로 하며 풀브릿지의 모듈레이터 비교를 제외하고 제어기 이득 값을 토폴로지마다 다르게 주었다.

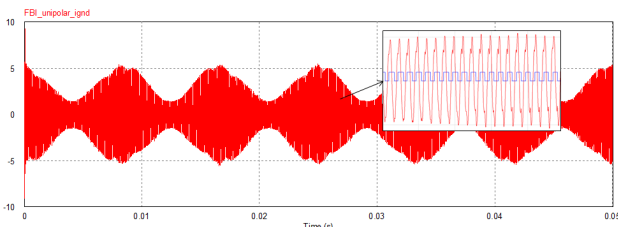


그림 3 풀브릿지 유니폴라 모듈레이션에서 대지전류 파형  
Fig. 3 Waveform of ground current in Full-bridge unipolar modulation

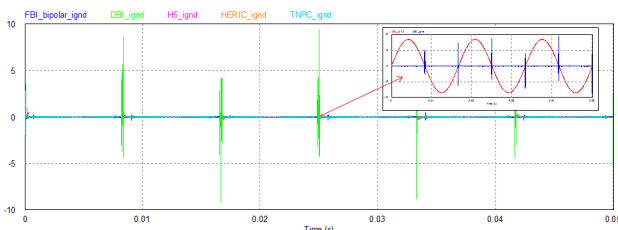


그림 4 풀브릿지(바이폴라), 듀얼벅, H5, HERIC, TNPC에서 대지전류 파형  
Fig. 4 Waveform of ground current in Full-bridge(bipolar), Dual-buck, H5, HERIC, TNPC

대지전류는 출력 전력에 상관없이 일정한 형태와 크기를 가진다. 풀브릿지(유니폴라)의 대지전류는 약 2.3A의 실효값을 가지며, 스위칭 주파수에 영향을 받고 계통전류가 증가할 때 감소하고 계통전류가 감소할 때 증가한다. 대지전류 실효값 측면에서 풀브릿지 유니폴라 대비 듀얼벅 인버터는 약 1/10배, 다른 토폴로지는 약 1/100배 감소한다. 계통전류 THD는 각 토폴로지마다 약 풀브릿지(유니폴라) 4.1~2.05%, 풀브릿지(바이폴라) 1.58~0.79%, 듀얼벅 1.81~0.96%, H5 1.25~0.66%, HERIC 1.36~0.69%, TNPC 1.09~0.55%이다. 듀얼벅 토폴로지는 zero-crossing 영역에서 DCM모드로 동작하여 전류의 왜곡이 발생

하여 대지전류 및 계통전류 THD 개선효과가 가장 적다. 그림4의 DBI 파형에서 이 현상을 확인할 수 있다.

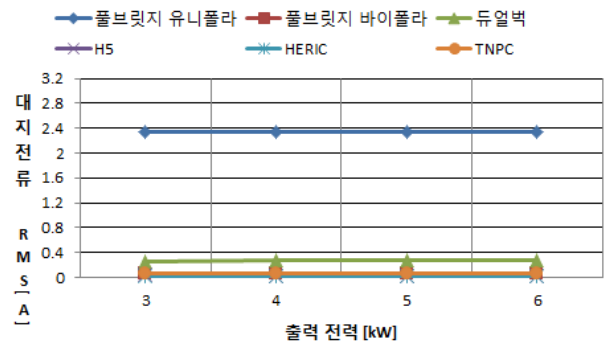


그림 5 토폴로지별 대지전류 RMS 비교  
Fig. 5 Comparison of ground current RMS in various topologies

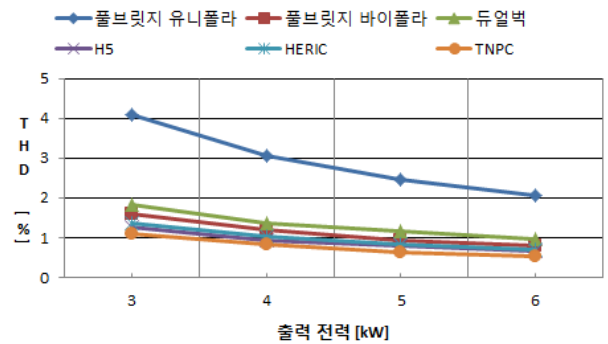


그림 6 토폴로지별 계통전류 THD 비교  
Fig. 6 Comparison of grid current THD(%) in various topologies

#### 4. 결론

본 논문의 시뮬레이션 결과를 통해 계통연계형 PV시스템에서 토폴로지에 따라 계통전류의 THD 차이 및 대지전류의 형태와 그 실효값을 확인할 수 있었다. 유니폴라 모듈레이션을 사용하는 풀브릿지 인버터대신 다른 토폴로지를 사용함으로써 대지전류와 계통전류의 THD를 크게 개선할 수 있음을 확인했다. 다음 연구에서는 본 논문의 시뮬레이션을 실험 모델로 제작하여 실험을 통해 실제 대지전류를 확인하고 토폴로지에 따른 개선 효과를 확인하고자 한다.

#### 참고 문헌

- [1] 이윤경, "[해외]전력산업 동향] 글로벌 유틸리티급 태양광발전 현황과 동향, Journal of Electrical world monthly magazine, pp. 36-42, 2016, February.
- [2] Oscar Lopez, "Eliminating ground current in a transformerless photovoltaic application", Power Engineering Society General Meeting of IEEE, pp. 1-5, 2007, June.
- [3] S. V. Araujo, P. Zacharias, and R. Mallwitz, "Highly Efficient Single-Phase Transformerless Inverters for Grid-Connected Photovoltaic Systems", IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 57, No. 9, pp. 3118-3128, 2010, September.