

고주파 링크와 적은 부품 수를 가진 양방향 브리지리스 단일단계 부스트 DC/AC 컨버터를 이용한 태양광 전력조절기 설계

전종권, 파예즈샴로즈, 아쉬로프, 박중후
 숭실대학교

Design of a solar power regulator using a bidirectional bridgeless single-stage boost DC/AC converter with high-frequency link and less component count

Jong Kwon Jeon, Shamroze Fayyaz, ashraf ahmed, Joung Hu Park
 SoongSil University

ABSTRACT

본 논문에서는 고주파 변압기와 적은 부품 수를 가진 양방향 브리지리스 단일단계 부스트 DC/AC 컨버터를 이용해 구현한 태양광 전력조절기 설계를 제안한다. 최대전력 지점 추종(maximum power point tracking, MPPT) 제어를 통해 얻은 최대 전력 지점에서의 전압을 고주파 변압기(HFT)로 승압해 그리드에 220[V] 전압을 공급한다. AC 전력을 제어 및 변조하기 위해 단일 위상전이(Single-Phase-Shift) 제어가 제안되었고, 스위칭 손실을 줄이기 위해 영전압 스위칭(ZVS)이 사용되었다. MPPT 제어를 위해 현재 가장 널리 쓰이는 P&O(perturb and observation) 알고리즘을 사용하였고, PI 제어를 이용한 전류-전압 제어기를 만들어 최대전력이 나오는 전압을 유지했다. 그리고, PSIM 시뮬레이션으로 제안된 컨버터를 구현 및 시뮬레이션 하여 결과를 도출하고 검증하였다.

1. 서론

기존의 보편화된 태양광 전력 조절기 시스템의 전력변환장치 구성은 출력이 직렬로 연결된 DC/DC 컨버터와 함께 계통 연계를 위한 DC/AC 인버터를 2단계로 결합해 사용하고, 또는 독립적으로 작동할 수 있는 단일단계 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 하지만 기존 시스템은 태양광 모듈에서 생산한 DC 전압을 승압 및 강압하고, 변환된 DC 전압을 AC로 변환하기 위해 DC/AC 인버터가 필수적이었다. 이러한 다중 단계 시스템은 전력변환 효율이 저하되고, 부품 수가 많아져 시스템 비용이 증가한다. 본 논문에서는 기존의 2단계 형태의 전력변환장치 구성을 고주파 변압기를 사용한 절연형태 단일 구조로 통합해 DC/DC 변환과 DC/AC 변환을 동시에 수행하였다. 고주파 변압기를 이용해 DC 전압을 AC 전압으로 승압과 더불어 전기적 절연으로 안전성을 높였고, 전체 시스템의 설계를 단순화해 크기 및 무게를 감소시켜 부품 수를 줄여 비용을 절감했다. 또한 단일 단계 구조 설계로 전력 전송 시 발생하는 손실을 줄였다.

2. 제안하는 태양광 전력 조절 DC/AC 컨버터

2.1 제안하는 회로 구조

제안하는 회로는 그림 1과 같다. 1차 측에 풀 브리지는 모든 스위치가 스위칭 주파수(f_s)로 동작하고, 2차 측 브리지는 두개의 스위치 세트 $M_1(S_5, S_6)$, $M_2(S_7, S_8)$ 로 이뤄져 스위치 세트 중 하나인 $M_1(S_5, S_6)$ 은 스위칭 주파수(f_s)로 동작, 다른 스위치 세트 $M_2(S_7, S_8)$ 는 60 [Hz]로 동작한다. 고주파 변압기(HFT)의 2차 측 단자(c, d)는 스위치 세트 $M_1(S_5, S_6)$ 의 중간 점과 분할된 커패시터(C_1, C_2) 사이에 연결되고, 출력전압(V_o)의 양극, 음극 단자는 각각 두 스위칭 세트 $M_1(S_5, S_6)$ 과 $M_2(S_7, S_8)$ 의 중간점에 연결된다.

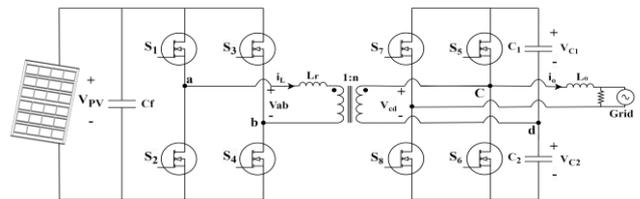


그림1 제안하는 DC/AC 컨버터 구조
 Fig.1 Proposed DC/AC converter architecture

2.2 회로 전력 변조 전략

회로 1차 측 스위치 S_1-S_4 는 변압기(a, b) 단자에 제 단계 전압(V_{ab}) 가지도록 변조되고, 2차 측에서 스위칭 주파수(f_s)와 두배의 라인주파수(f)를 가지는 전압(V_{cd}) 신호에서 파형이 Envelope 형태를 가지도록 변조된다. 2차 측 스위치 상태 따라 C_1, C_2 에 정류된 120 [Hz] 정현파 전압 출력이 생성되고, 이 전압은 스위치 $M_2(S_7, S_8)$ 의 스위칭에 따라 정류된 정현파 전압이 Unfold 되어 최종적으로 60 [Hz]의 출력전압을 얻게 된다. [1]

2.3 Power stage 설계

태양광 모듈의 최대전력은 700[W], 최대전력 지점 전압은 39.6[V]로 설정했고, 스위칭 주파수는 각각 50[kHz], 60[Hz]로 선정했다. 1차 측으로부터 전달받은 DC 전압을 AC 220[V] 전압으로 변환하기 위해 변압기 권선비는 1:10으로 선정했다. 전력변환 방법으로 단일 위상천이(Single-Phase-Shift) 제어를 사용했고, 위상천이는 1, 2차 측 V_{ab} , V_{cd} 전압 간의 차이로서 누설 인덕터에 나타난다. 누설 인덕턴스 L_r 은 1.5uH, 자화 인덕턴스 L_m 값은 30uH로 설계하였다.

표 1 MPPT 및 전력 변조위한 DC/AC 컨버터 주요 파라미터
Table1 DC/AC converter parameters for MPPT and power modulation

PV 최대전력 전압	39.6V	권선비(n)	10
PV 최대전력 전류	17.68A	스위칭 주파수1 (S1-S4, S5-S6)	50kHz
PV 최대 전력	700W	스위칭 주파수2 (S7, S8)	60Hz
출력전압	220V	누설인덕턴스(L_r)	1.5uH
출력전류	3.4A	Phase shift(ϕ) (V_{ab} , V_{cd} 간)	40°

2.4 태양광 전력 조절 DC/AC 컨버터 제어 시뮬레이션

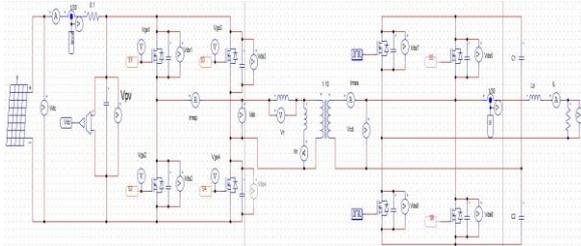


그림2 MPPT를 위한 DC/AC 컨버터 시뮬레이션 전력단 회로
Fig.2 DC/AC converter simulation power stage circuit for MPPT

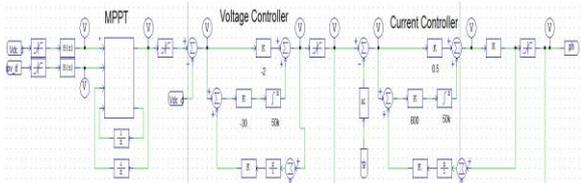


그림3 MPPT를 위한 DC/AC 컨버터 시뮬레이션 전류-전압 제어기
Fig.3 DC/AC converter simulation current-voltage controller for MPPT

PV 최대전력 지점 전압을 추종하기 위해 P&O(perturb and observation)알고리즘을 이용했고, PI제어를 이용해 최대전력 지점 전압을 추종하도록 전류-전압 제어기를 구현해 사용하였다.

3. 시뮬레이션 결과

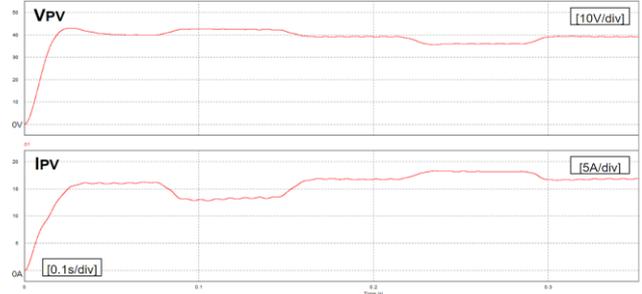


그림4 MPPT 제어를 통한 PV전압, 전류 시뮬레이션 결과파형
Fig.4 Simulation results of PV voltage, current waveforms through MPPT control



그림5 MPPT 제어를 통한 출력전압, 전류 시뮬레이션 결과파형
Fig.5 Simulation results of output voltage, current waveforms through MPPT control

위 그림4와 같이 시뮬레이션상 PV 최대전력 지점 전압은 39.6[V]로 설정했고, P&O알고리즘 Step을 1.5[V]로 설정한 결과 39.6[V] 부근에서 동작함으로써 최대전력 지점으로 안정하게 추종하고 있는 것을 알 수 있고, 그림5와 같이 출력 전압과 출력전류가 왜곡 없이 잘 나오고 있는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 고주파 변압기와 적은 부품 수를 가진 양방향 브리지리스 단일단계 부스트 DC/AC 컨버터를 이용해 구현한 태양광 전력조절기 설계를 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 결과를 검증하였다. 추후 연구에서 수백kHz의 고주파 스위칭 주파수를 이용해 매우 작은 소형 변압기를 사용하고, 전력 효율을 더 높일 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

[1] M. Atef, A. Ahmed, J.-H Park, "Single-Stage Isolated DC/AC Converter With Continuous Dynamic Model and Controller Design" IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 70, No. 6, June 2023.