

고조파 전압이 포함된 계통과 연계된 듀얼벅 인버터의 DCM 구간에서 전류 왜곡 개선을 위한 비례공진 제어기

최민재¹, 조영훈[†], 최진욱¹, 문영민¹
 건국대학교 전기공학과

The Proportional Resonant Controller for Improving the Current Distortion of the Dual buck inverter in DCM Section Connected grid system with harmonic voltage

Choi Minjae, Cho Younghoon, Choi Jinuk, Moon Youngmin
 Konkuk University Electricity Engineering

ABSTRACT

Recently, the development of renewable energy using solar energy is drawing attention. One of these PV systems, the Dual buck Inverter, is one of the topologies used in conjunction with the system, characterized by high efficiency and shoot through reduction. However, current distortion appears severely in grid connection. So, in this paper, the method of compensation through PR controller was verified through simulation as an analysis of current distortion components and a control method to improve them.^[1]

1. 서론

최근 신재생 에너지에 대한 관심증가로 이와 관련된 계통 연계형 인버터의 연구도 진행되고 있다. 계통 연계형 발전시스템이 전력 계통과 연계되어 운전하기 위해서는 전력 계통에 장애를 주지 않도록 고조파 저감 기술이 필요하다.^[2]

본 논문에서는 기존 풀 브릿지 인버터보다 스위칭 손실이 적은 듀얼벅 인버터를 태양광 패널의 출력으로 가정한 직류전압 220V, 60Hz 계통에 연계한다. 계통 연계 시 발생하는 저차수고조파를 저감하기 위해 비례 공진제어기(PR Controller)를 이용하여 고조파를 보상 하는 방법을 제안한다.^[3]

이를 검증하기 위해 해석용 소프트웨어 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 비례공진 제어기의 고조파 저감 효과의 유효성을 확인한다.

2. 듀얼벅 인버터(Dual Buck Inverter)

2.1 회로도

듀얼벅 인버터 회로는 그림 1과 같다. 두개의 필터에 인덕터가 스위치 후단에 사용되고 양과 음의 방향의 인버터 동작을 위해 2개의 MOSFET이 사용되고, 레그에는 하나의 MOSFET과 다이오드가 사용된다.^[4]

2.2 듀얼벅 인버터의 동작 원리

본 논문에서는 단극성 전압 PWM을 사용하여 듀얼벅 인버터를 동작시킨다. 그림 2는 듀얼벅 인버터의 동작 원리를 나타

낸 그림이다. 출력 전압이 양일 경우 S_1 이 고주파 스위칭하고, S_p 는 전류지령의 주파수로 ON/OFF 동작하고, S_n 은 OFF 상태를 유지한다.

출력 전압이 음일 경우 S_2 가 고주파 스위칭하고, S_n 은 전류지령의 주파수로 ON/OFF 동작하고, S_p 는 OFF 상태를 유지한다. 따라서 한 스위칭 주기마다 하나의 스위치만 스위칭을 하게 되어 스위칭 손실이 감소하게 된다.

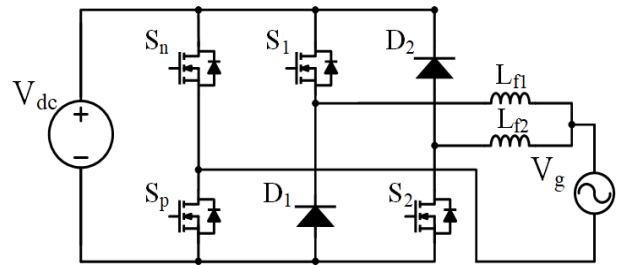


Fig. 1. Dual Buck Inverter Circuit

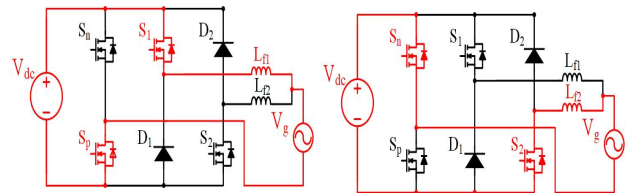


Fig. 2. Operation principle of Dual Buck Inverter

2.3 계통 연계 시 부하 전류의 왜곡 현상

계통연계 배전시스템의 전압은 비선형 부하에 의한 고조파 전류로 인하여 왜곡되기 쉽고, 이 때문에 PWM 인버터는 왜곡된 입력전류를 출력하여 또 다른 고조파 전류원이 된다.

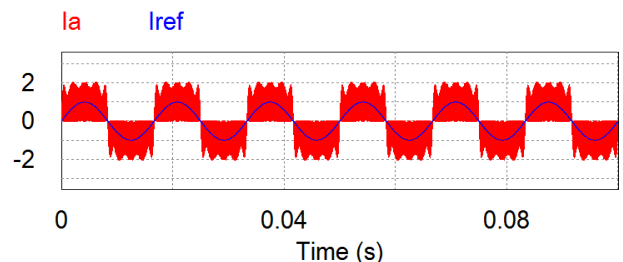


Fig. 3. (a) Reference current and load current

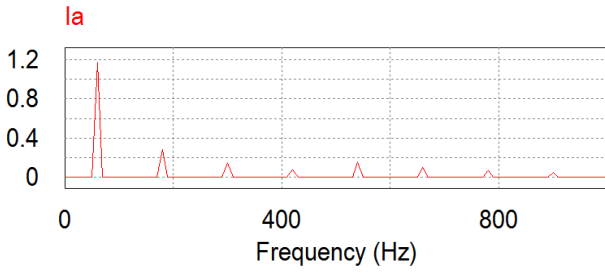


Fig. 3. (b) FFT analysis of load current

그림 3. (a)는 전류 지령을 1A로 했을 때의 PI제어기의 출력 전류를 나타낸 그래프이다. 그림 3. (b)는 출력 전류의 FFT 분석 결과이다. 저차수 고조파가 발생함을 알 수 있다.

3. 공진 제어기(PR Controller)

3.1 비례공진 제어기

본 장에서는 비례공진 제어기를 통해 저차수고조파 저감을 확인한다. 비례공진 제어기는 벡터 좌표계를 이용하여 제어기를 설계한다. 동기좌표계에서 설계한 기존의 방식과는 다르게 좌표변환이 없어 연산과정이 단축된다. 식 (1)은 PR 제어기를 나타낸 것이다.

$$G_h(s) = \sum_{h=3,5,7} \frac{2K_p w_c s}{s^2 + 2w_c s + (w_c)^2} \quad (1)$$

$$T_h(s) = G_h(s) + K_p \quad (K_p \text{는 비례공진제어상수}) \quad (2)$$

식 (2)는 PR 제어기의 전달함수를 나타낸 식이다.

3.2 시스템 구성

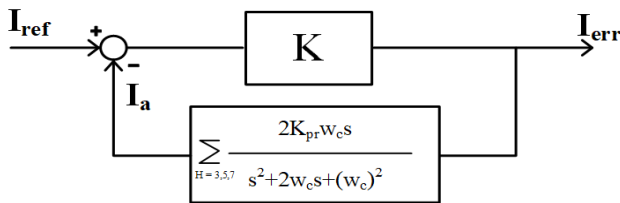


Fig. 4. PR Controller Block Diagram

3.1에서 언급한대로 전달함수를 이용하여, 제3차, 5차, 7차 고조파 제거를 위한 비례공진 제어기를 설계하였다. 그림 4는 비례공진제어기의 블록 다이어그램을 나타낸 그림이다.

4. 시뮬레이션 결과

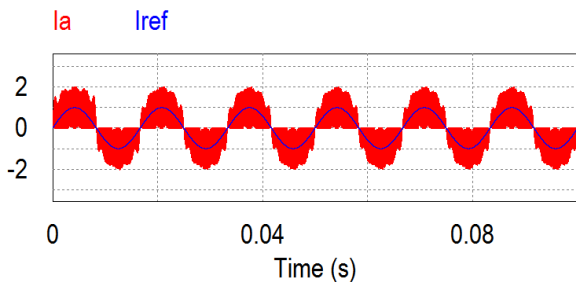


Fig. 5. (a) Reference current and load current after control

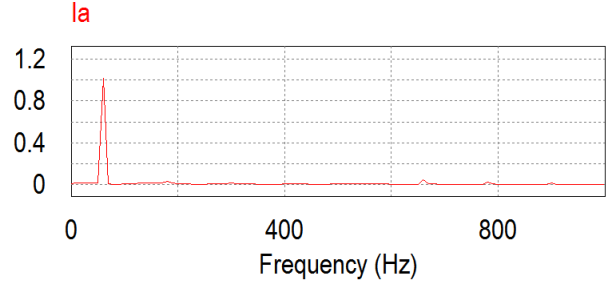


Fig. 5. (b) FFT analysis of load current in gain 5000

그림 5. (a)는 비례공진 제어기의 이득을 5000으로 했을 때의 출력 전류를 나타내는 파형이다. 그림 6. (b)는 각각 비례공진 제어기의 이득은 5000으로 설정한 뒤 부하 전류의 FFT 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

TABLE I
3rd HARMONIC REDUCTION RATE

Gain	Harmonics Value	Harmonics Reduction Rate(%)
50	0.265	7.02
500	0.151	47.02
5000	0.026	90.88

표 1은 제어기 이득에 따른 제 3 고조파 저감률을 나타낸 표이다. 제어기의 이득이 5000일 때 고조파가 약 91% 정도 저감됨을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 계통형 인버터를 듀얼 벡 인버터로 사용 시에 발생하는 전류 왜곡현상을 해결하기 위해서 비례공진 제어기(PR controller)를 사용하였다. 비례 공진 제어기 이득을 충분히 키웠을 때 90% 이상의 높은 고조파 저감을 보임을 모의 해석을 통해 확인할 수 있었다. 적절한 제어기 이득과 Passion band를 선정하여 제어기를 설계한다면 계통 연계 뿐 아니라 자동차 산업과 같은 다양한 산업에 활용될 수 있을 것이다.

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 산업연계 교육 호러성 화선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

- [1] Younghoon Cho, "Dual buck residential photovoltaic inverter with a high accuracy repetitive current controller", Proceedings of the elsevier, 2016, Aug.
- [2] Kangwan Lee, "Harmonic impact studies of grid connected photovoltaic generation system", 2009, July
- [3] Jonghyun Lee, "Compensation of Harmonic Distortion for Grid connected Inverter Systems using a PR Controller", 2011, Nov
- [4] Younghoon Cho, "Analysis of voltage controller of Dual Buck Inverter using Redox Flow Battery", 2014, July