

능동 전력 디커플링을 위한 3권선 방식의 플라이백 인버터 설계

김규동*, 김준구*, 이태원**, 정용채***, 원충연*
성균관대학교*, 삼성전기**, 남서울대학교***

Design of Three-port Flyback Inverter for Active Power Decoupling

Kyu Dong Kim*, Jun Gu Kim*, Tae Won Lee**, Yong Chae Jung***, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University, Samsung Electro-Mechanics**, Namseoul University***

ABSTRACT

In this paper, novel three port active power decoupling (APD) method for applying 250[W] micro inverter. This type using third port for active power decoupling stores the surplus energy and supplies sufficient energy to grid. Conventional decoupling circuit is applied in single phase grid connected micro inverter especially single stage configuration like flyback type DC AC inverter. In this passive power decoupling method, electrolytic capacitor with large capacitance is needed for decoupling from constant DC power and instantaneous AC power. However the decoupling capacitor is replaced with film capacitor by using APD, thus the overall system can achieve smaller size and long lifespan. Proposed three port flyback inverter is verified by design and simulation.

1. 서론

계통연계형 AC 모듈 시스템은 DC 입력과 AC 출력이 연결되기 때문에 입력 전력과 출력의 순시전력간의 전력 디커플링을 위하여 에너지 저장소지를 요구한다. 태양전지와 같은 전류원 소스의 경우 출력단에 큰 용량의 커패시터를 사용하는데 이를 디커플링 커패시터라고 한다. AC 모듈은 토폴로지의 구성에 따라 디커플링 커패시터의 위치와 크기가 다르다. DC DC 컨버터와 DC AC 인버터의 2단 혹은 다단 구성의 태양광 인버터는 DC Link 커패시터가 전력 디커플링 역할을 하며 커패시터에는 계통주파수의 2배에 해당하는 전압 리플이 존재한다. 반면에 플라이백 인버터와 같은 1단 구성의 AC 모듈 시스템에서는 DC 링크가 존재하지 않기 때문에 입력 단의 커패시터가 디커플링을 수행하고 입력단에 계통주파수의 2배에 해당하는 전압리플이 존재하게 된다. MPPT 성능을 높이기 위해서는 위와 같은 리플성분을 제거하는 것이 중요하다. 따라서 250[W]급 플라이백 인버터의 경우 높은 커패시턴스의 요구로 인하여 전해커패시터를 사용해 왔지만 이는 수명과 신뢰성 그리고 부피 증가의 문제를 야기한다.^[1] 본 논문에서는 250[W]급 플라이백 인버터의 입력단 커패시터를 줄일 수 있는 능동 전력 디커플링 방식을 소개하고 그 설계법을 제안한다.

2. 제안하는 토폴로지

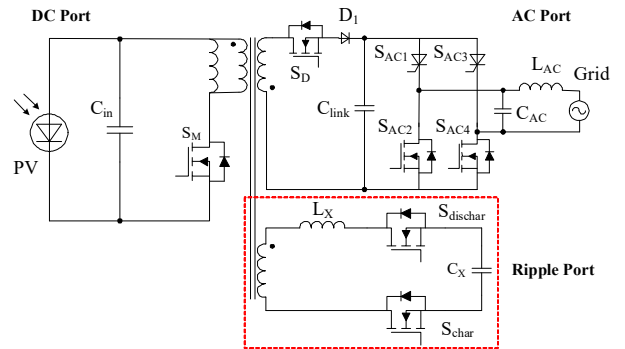


그림 1 제안하는 능동 전력 디커플링을 위한 3권선 방식의 플라이백 인버터

Fig. 1 Proposed three-port flyback inverter for active power decoupling

제안하는 능동 전력 디커플링을 위한 3권선 방식의 플라이백 인버터는 기존의 unfolding bridge 인버터를 사용하는 1단 구성의 플라이백에 보조 권선을 추가한 구성이다. 보조 권선을 통하여 자화 에너지의 방출 경로를 만들어주고 3차측의 충전/방전 스위치의 스위칭 동작을 통하여 3차측 커패시터에 에너지를 저장/방출하게 된다. 3차측의 충전 스위치는 입력단의 전력이 출력단 순시 전력보다 큰 경우 동작을 하고 방전 스위치는 입력단 전력이 출력단 순시 전력보다 작은 경우 동작하여 전력 디커플링을 수행한다. 따라서 3차측을 리플단이라고 표현하고 리플단의 커패시터에는 계통주파수의 2배에 해당하는 전압 리플이 존재한다.

3. 제안하는 토폴로지의 설계

제안하는 3권선 방식의 플라이백 인버터가 능동 전력 디커플링 동작을 수행하기 위해서는 2차측과 3차측 권선의 정의가 중요하다. 리플단의 전압이 2차측에 출력되는 컨버터 출력단의 정류된 정현파 전압보다 작아지게 되면 3차측에서 2차측으로의 에너지 전달이 이루어지지 않는다. 즉, 리플단 커패시터의 방전 동작이 이루어지지 않기 때문에 입력단의 부족 전력으로 인해 계통 전류의 왜곡이 일어난다.^[2] 이 조건을 그림 2로 표현할 수 있고, 식 (1)을 정의하고 이를 토대로 제안하는 토폴로지를 설계한다.

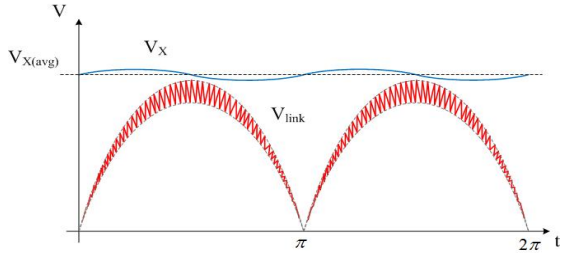


그림 2 리플단 전압과 컨버터 출력단 전압 관계
Fig. 2 The voltage relationship between ripple port and converter output

$$V_{X(\min)} \times \frac{N_S}{N_X} > V_{link(\max)} \quad (1)$$

3.1 리플단 인덕터 설계

그림 2의 리플단 전압의 평균값 $V_{X(av)}$ 을 결정하는 요인으로 권선비와 리플단 인덕턴스가 있다. 리플율을 1.25%로 가정하였을 때 인덕터에 인가되는 최소 전압을 구하면 다음과 같다.

$$\left(V_{tri} + V_{Lx} - \frac{\Delta V_{Cx}}{2} \right) \times \frac{N_S}{N_X} > V_{link(\max)} = 101 \text{ V} \quad (2)$$

식 (2)에서 구한 인덕터 최소 전압을 토대로 인덕턴스를 계산하면 다음과 같다.

$$L_X = V_{Lx} \times \frac{\Delta T_s}{\Delta i_3} = V_{Lx} \times \frac{D_{dischar} T_s}{\Delta i_3} \quad (3)$$

$$\therefore L_X > 165 \mu\text{H}$$

3.2 리플단 커패시터 설계

출력단 전류의 왜곡을 방지하기 위해 식 (1)의 조건을 만족하려면 리플단 전압의 리플 크기를 결정하여야 하는데 이는 리플단 커패시터 C_X 의 크기에 의존한다. 리플단 커패시터의 값은 리플단 인덕터와 권선비에 의해서 결정되는 리플단 평균전압에 관계된 수식으로 그 관계는 그림 3에 표현되어 있다.

$$V_{X(\min)} = 2V_{X(av)} - \sqrt{V_{X(av)}^2 + \frac{V_{AC} I_{AC} T_{AC}}{4\pi C_X}} \quad (4)$$

식 (4)를 통하여 그림 3과 같은 그래프를 나타낼 수 있고 출력 전류의 왜곡을 방지하기 위한 최소 커패시턴스는 42[uF]이다.

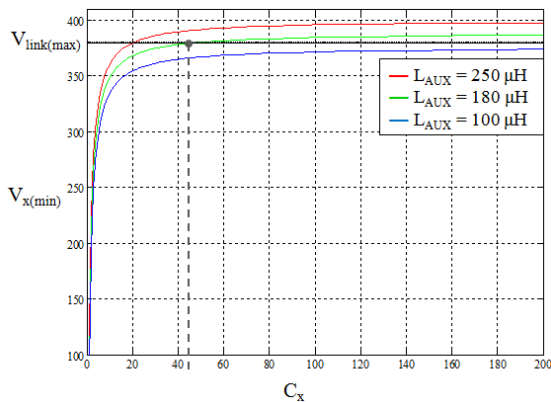


그림 3 리플단 인덕턴스에 따른 리플단 커패시턴스와 리플 전압의 최소값과의 관계

Fig. 3 The relation with ripple port capacitor C_X and minimum value of ripple voltage $V_{X(\min)}$

3.3 시뮬레이션 결과

위 설계 조건을 검증하기 위해 출력전류의 왜곡이 발생하지 않는 조건에서의 출력 전류 파형과 왜곡이 발생하는 조건에서의 출력 전류 파형을 시뮬레이션 결과 그림 4 (a),(b)를 통해 나타냈다. 리플단의 수동 소자의 값은 동일하고 식 (1)을 이용하여 2차측과 3차측의 권선비를 바꾸어 검증하였다. 그림 4 (b)는 권선비에 의해 3차측 전압이 2차측보다 작아지게 되어 3차측에서 2차측으로 에너지가 전달되지 않는 구간이 생기고 그에 따라 출력 전류의 왜곡이 발생하는 것을 보여준다.

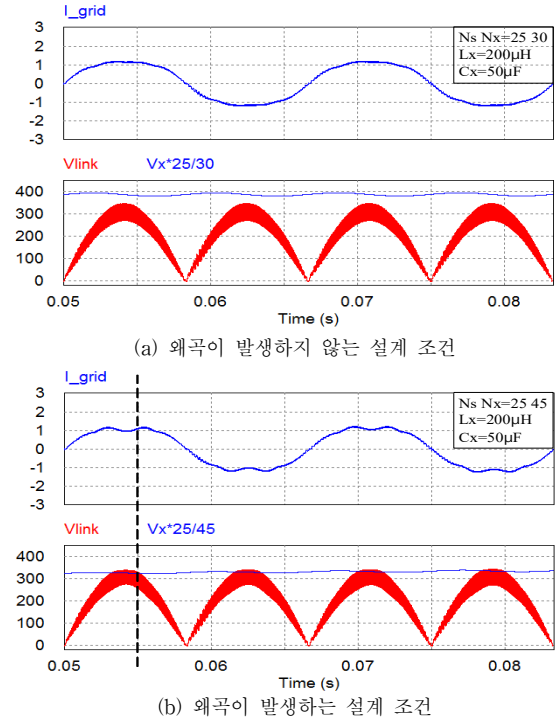


그림 4 설계 값에 따른 출력 전류 왜곡에 대한 시뮬레이션
Fig. 4 Simulation results about output current distortion

4. 결론

3권선 방식을 사용한 새로운 능동 전력 디커플링 방식에서는 2차측과 3차측의 에너지 전달을 위해서 본 논문에서 밝힌 설계 조건이 고려되어야 한다. 본 논문의 설계 조건을 토대로 새로운 방식의 토폴로지를 실험을 통하여 검증할 것이다.

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] H. Hu, S. Harb, N. Kutkut, I. Batarseh, Z.J. Shen, "Power Decoupling Techniques for Micro inverters in PV Systems a Review" IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2010.
- [2] A.C. Kyritsis, N.P. Papanikolaou, E.C. Tatakis, "Enhanced Current Pulsation Smoothing Parallel Active Filter for Single Stage Grid connected AC PV Modules", in Power Elec. and Motion Control Conf. EPE PEMC2008. 13th, pp. 1287-1292. sept. 2008.