

디커플링과 에너지 저장 기능을 갖는 PV-AC 모듈형 단상 플라이백 인버터 설계

하은정*, 류무영*, 노용수*, 이택기**, 원충연*
성균관대학교*, 한경대학교**

Design of PV-AC Module Flyback Inverter with Decoupling and Energy Storage Functions

Eun Jung Ha*, Moo Young Ryu*, Yong Su Noh*, Taeck Kie Lee**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Hankyung National University**

ABSTRACT

This paper presents design method of 250[W] grid connected PV AC module with decoupling and energy storage functions to select optimized passive elements for stable operation. The validity of design of optimized elements is verified by simulation results.

1. 서 론

발전 용량 증설이 용이하고, 발전 효율이 높은 AC 모듈 시스템의 연구가 각광을 받고 있다. 특히, 플라이백 컨버터를 기반으로한 AC 모듈이 주를 이루고 있다. 본 논문에서는 디커플링과 에너지 저장 기능을 갖는 계통 연계형 AC 모듈형 단상 플라이백 인버터를 제안한다. 제안된 회로는 능동 전력 디커플링을 통해 디커플링 커패시터의 용량을 줄일 수 있다. 또한 에너지 저장 장치(ESS, energy storage system)을 통하여 배터리에 에너지를 충·방전함으로써 PV 발전 전력량을 평준화하여 이용률을 높일 수 있다.

각각의 플라이백 인버터, 디커플링 회로, ESS가 안정적으로 동작하도록 각 소자를 설계하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 디커플링 커패시터, 버퍼 커패시터와 인덕터의 적절한 소자값 설계를 제안하였으며, 적절한 소자값을 계산하는 과정을 설명하고 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행함으로써 설계의 타당성을 검증 및 확인하였다.

2. 제안하는 토폴로지

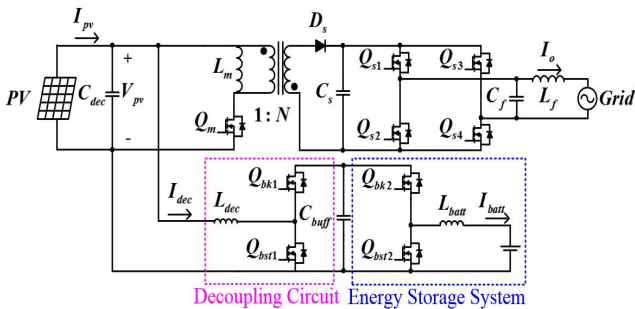


그림 1. 디커플링 회로와 ESS 기능을 갖는 AC 모듈의 회로도
Fig. 1 AC-module topology with decoupling and ESS

그림 1은 디커플링과 에너지 저장 기능을 갖는 PV AC 모듈형 단상 플라이백 회로이다. 보조 회로는 디커플링 회로와 ESS로 구성되어 있다. 이는 태양광 패널의 DC 전력과 계통 AC 전력의 차이를 보상하여 전력 맥동을 저감시키고 배터리에 에너지를 충전 및 방전하는 양방향 컨버터로 구성되어 있다.^[2]

3. PV-AC 모듈형 단상 플라이백 인버터 설계

3.1 디커플링 커패시터(C_{dec}) 설계

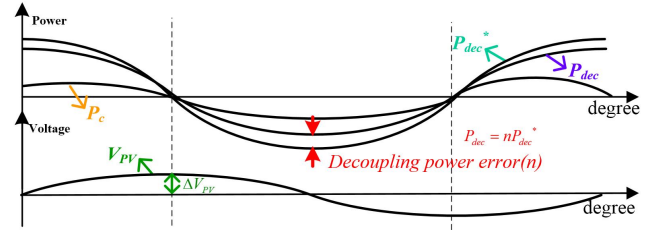


그림 2. 디커플링 전력 오차, 커패시터 전력과 PV 전압
Fig. 2 Decoupling power error, capacitor power, and PV voltage

그림 2와 같이 디커플링 전력 지령(P_{dec}^*)과 실제 전력(P_{dec})에는 n 의 오차가 발생하게 되므로 커패시터 전력은 그 차이만큼 존재하게 된다. 오차는 전류 지연 또는 효율에 의해서 발생이 되며 이를 고려하였을 때 식 (1)과 같이 커패시터는 전압 맥동이 발생하게 된다. 이를 디커플링 커패시터의 용량을 결정하기 위한 설계식으로 변환하여 PV 전력(P_{PV}), PV 전압(V_{PV}), 계통 주파수(f_s), PV 전압 맥동(ΔV_{PV}) 과 디커플링 전력 오차를 고려하면 식 (2)와 같다.^[1]

$$\Delta V_C = \frac{P_{PV}(1-n)}{4\pi f_s V_{PV} C} \quad (1)$$

$$C_{dec} = \frac{P_{PV}(1-n)}{2\pi f_s (2V_{PV}\Delta V_{PV} + \Delta V_{PV}^2)} \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 PV 전압 맥동을 5%미만으로 달성하기 위하여 215 μ F 이상의 디커플링 커패시터가 요구된다.

3.2 버퍼 커패시터(C_{buff}) 설계

버퍼 커패시터의 맥동이 크게 되면 정상적으로 양방향 컨버터가 동작하지 않게 된다. 따라서 커패시터의 전압 맥동이 양

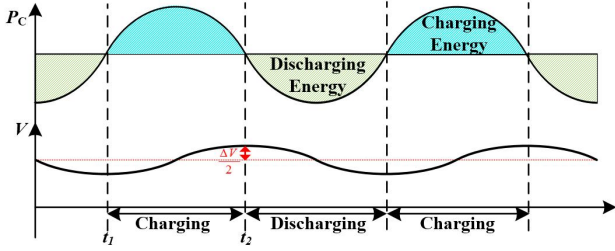


그림 3. 버퍼 커패시터 전압과 전력
Fig. 3 Voltage and power of buffer capacitor

방향 컨버터 동작에 문제가 되지 않도록 설계해야 한다. 그림 3과 같이, 커패시터는 충-방전을 하며 디커플링 기능을 수행한다. Worst case인 Boost 모드로 선정하고 전압 맥동으로 인하여 입력 전압보다 더 크지 않아 안정적으로 동작할 수 있도록 설계 조건을 만들어 준다.

$$C_{buff} = \frac{P_{PV}}{2\pi f_s \left(2V \left(\frac{\Delta V}{2} \right) + \left(\frac{\Delta V}{2} \right)^2 \right)} \quad (3)$$

PV 전력, PV 전압, 전압 맥동(ΔV)을 고려하여 식 (3)과 같이 나타난다. 이를 통해, 전압 맥동을 30% 미만으로 달성하기 위해 236μF 이상의 버퍼 커패시터가 요구된다.

3.3 인덕터 설계

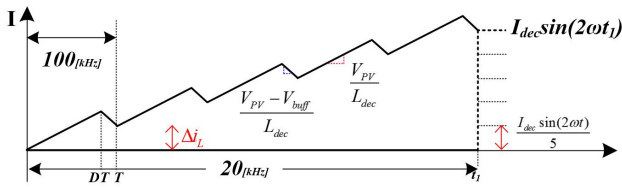


그림 4. 인덕터 설계를 위한 인덕터 전류 파형
Fig. 4 Waveform of inductor current for design of inductor

양방향 컨버터의 스위치 턴 온, 턴 오프 시 스위칭 한 주기당 인덕터 전류 변화량은 그림 4와 같다. Worst case인 기울기가 가장 큰 사인파가 0인 지점을 고려하여 설계하면 최적화된 인덕터 값이 설계 가능하다. 보조회로의 양방향 스위치의 스위칭 주파수는 100kHz이고 ADC 동작 주파수는 20kHz이다. 따라서, 5번의 스위칭 안에 t_1 의 크기인 $I_{dec} \sin(2\omega t)$ 의 조건에 도달하기 위하여 ΔI_L 은 식 (4)와 같은 조건이 성립이 된다. 식 (4)의 조건에 따라 듀티비(D), 버퍼 커패시터의 전압(V_{buff}), 스위칭 주기(T_s), 인덕터 전류 맥동(ΔI_L)을 고려하여 식 (5)와 같은 수식이 성립된다.

$$\frac{I_{dec} \sin(2\omega t_1)}{5} < \Delta I_L < I_{dec} \sin(2\omega t_1) \quad (4)$$

$$L_{dec} > \frac{V_{PV} D T_s + (V_{PV} - V_{buff})(1-D) T_s}{\Delta I_L} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 통하여, 디커플링 인덕터는 501.253μH 이상 10.02mH 이하가 요구된다.

4. 시뮬레이션 결과

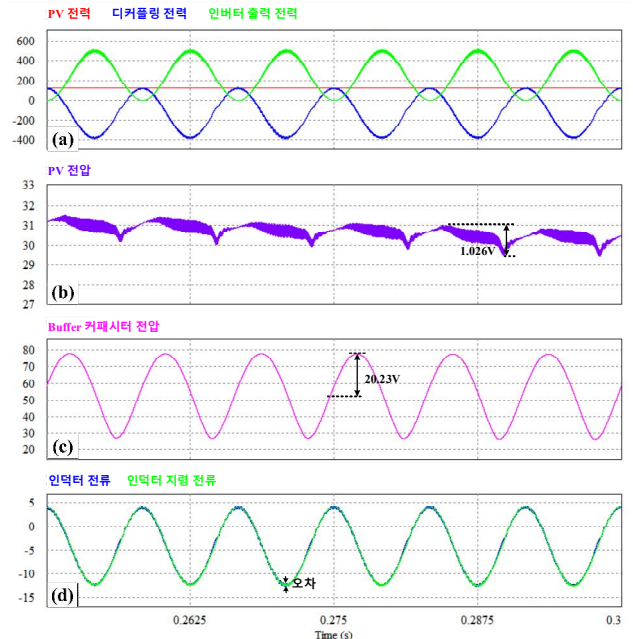


그림 5. 설계된 파라미터를 적용한 주요 파형
Fig. 5 Waveforms of AC-module adapted designed parameter

그림 5는 앞선 수식들로 설계된 디커플링 커패시터, 버퍼 커패시터와 디커플링 인덕터를 제안하는 토폴로지에 적용한 시뮬레이션 결과이다. 그림 5(a)는 보조회로가 디커플링과 ESS를 수행하는 경우의 파형이다. P_o 와 P_{PV} 의 차이만큼 전력을 감당하며 디커플링을 수행하는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b) (c)는 설계된 수동 소자로 인하여 PV 전압 맥동이 PV 전압의 5%미만 즉, 1.5V이하로 동작하는 것을 알 수 있고, 버퍼 커패시터의 전압 맥동이 30%미만으로 동작하며, 인덕터 전류 맥동 역시 주어진 설계 조건에 만족함을 알 수 있다. 이를 통해, 설계된 수동 소자의 값을 통하여 안정적인 동작을 하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 디커플링과 에너지 저장 기능을 갖는 계통 연계형 AC 모듈의 수동소자 설계 기법을 제안하였다. 설계된 파라미터를 대입 시 설계 조건에 맞게 동작하는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2012년 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] Y.S Noh, M.N. Kim, J.G Kim, C.Y. Won, "Analysis and design of decoupling capacitor for single phase flyback inverter with active power decoupling circuit", ISIE, pp.1 6, 2013. May.
- [2] 류무영, 오민석, 노용수, 정용채, 원충연, "디커플링과 에너지 저장 기능을 갖는 계통 연계형 PV AC Module용 플라이백 인버터", 전력전자학회, pp. 475 476, 2013.