

# 디커플링 기능을 갖는 계통 연계형 태양광 AC-Module의 전류 왜곡 보상 기법

하은정\*, 류무영\*, 노용수\*, 원동조\*\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*, 한국기계전기전자시험연구원\*\*

## Current Distortions Compensation Method for Grid-connected PV-AC Module with Decoupling

Eun Jung Ha\*, Moo Young Ryu\*, Yong Su Noh\*, Dong Jo Won\*\*, Chung Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan university\*, Korea Testing Certification\*\*

### ABSTRACT

태양광 발전용 AC 모듈에서 발생하는 전력 디커플링을 위해 사용되는 대용량 전해 커패시터는 시스템의 신뢰성을 감소시키므로 최근 보조회로를 이용한 디커플링 기법이 연구되고 있다. 하지만 디커플링 회로의 제어기 오차와 시스템의 효율이 고려될 경우, 태양광 패널에 전력 맥동이 존재하게 되고 이는 인버터 출력 전류를 왜곡시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 제어기 오차와 시스템 효율을 고려하여 발생하는 전력 맥동에 대해 분석하고, 이를 저감시키기 위한 전류 왜곡 보상 기법을 제안하였다. 이를 PSIM 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 용량 증설이 용이하고, 발전 효율이 높은 AC 모듈에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그 중 플라이백을 기반으로한 AC 모듈은 태양광 패널에서 발전된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하기 때문에 플라이백 컨버터의 입력이 계통 주파수의 2배에 해당하는 전력 맥동이 발생하게 된다. 이는 태양광 모듈의 최대 전력 추적(MPPT) 제어에 악영향을 주므로 일반적으로 대용량 전해 커패시터를 이용하여 전력 맥동을 저감시킨다. 하지만 전해 커패시터는 일반적으로 수명이 태양광 모듈보다 짧아 시스템의 신뢰성을 감소시키므로, 보조 회로를 이용하여 전력 맥동을 저감시키는 능동 전력 디커플링 기법이 연구되고 있다. 하지만 능동 전력 디커플링 회로가 디커플링을 수행하더라도, 디커플링 회로의 입력 전류 제어기에서의 오차와 시스템 효율을 고려할 경우에 태양광 패널에 전력 맥동이 발생하게 된다.

본 논문에서는 디커플링 회로의 입력 전류 제어기 오차와 시스템 효율을 고려하여 발생하는 전력 맥동에 대해 분석하고, 입력단 전압 맥동에 의해 발생하는 출력 전류의 왜곡을 최소화시키기 위한 전류 왜곡 보상 기법을 제안하였다<sup>[1]</sup>.

### 2. 플라이백 인버터의 출력 전류 왜곡

그림 1은 디커플링 기능을 갖는 플라이백 기반의 태양광 발전용 AC 모듈이다. 디커플링 회로는 태양광 패널의 DC 발전 전력과 계통의 AC 전력의 차이를 보상하여 전력 맥동을 저감시키기 위해 양방향 컨버터로 구성되어 있으며, 입력단 커패시터  $C_m$ 과 병렬로 연결되어 있다.

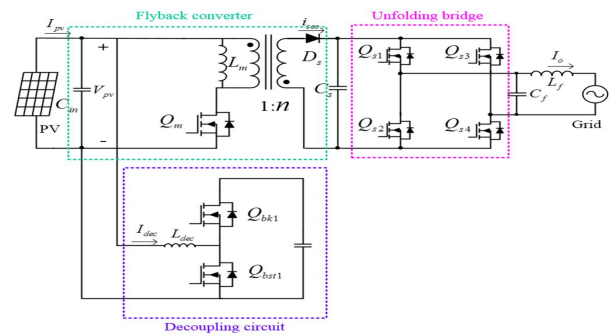


그림 1 디커플링 회로를 갖는 AC 모듈의 회로도  
 Fig. 1 AC-Module topology with decoupling circuit

순시적으로 발생하는 인버터 출력 전력  $P_{out}$ 과 태양광 모듈 출력 전력  $P_{PV}$ 의 차이의 전력을 그림 1의 디커플링 회로에 저장 및 방출을 하여 디커플링 기능을 수행한다. 따라서 디커플링 회로의 입력 전력은 식 (1)과 같다. 식 (1)을 이용하여 디커플링 회로의 입력 전류 지령  $i_{dec,ref}$ 는 식 (2)와 같다.

$$P_{APDC} = P_{PV} - P_{out} = V_{PV}I_{PV} - V_{PV}I_{PV}(1 - \cos 2\omega t) \quad (1)$$

$$i_{dec,ref} = \frac{P_{APDC}}{V_{PV}} = I_{PV} \cos 2\omega t \quad (2)$$

이상적으로 디커플링 동작이 이루어 질 경우, 입력단의 전력 맥동은 모두 제거된다. 하지만 AC 모듈의 효율과 전류 제어기 오차를 고려할 경우, 입력단 디커플링 커패시터에 식 (3)과 같은 전력 맥동이 발생하게 된다.

$$P_c = P_{PV} - \eta P_{PV}(1 - \cos 2\omega t) - P_{APDC} \cos(2\omega t - \theta) \quad (3)$$

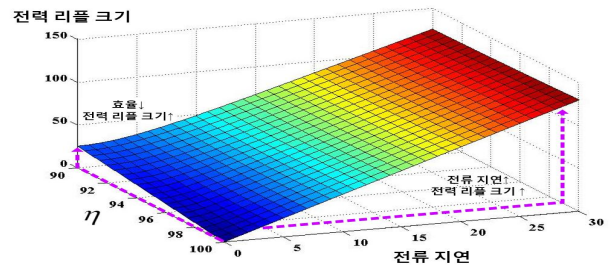


그림 2 효율과 전류 지연을 고려한 전력 맥동 크기  
 Fig. 2 Power oscillation magnitudes considered current delay and efficiency

그림 2는 식 (3)을 이용하여 효율과 전류 제어기 오차에 따른 디커플링 커패시터에 발생하는 전력 맥동의 크기를 나타낸다. 전류 제어기 오차가 커지거나 효율이 낮을수록 전력 맥동이 커진다.

### 3. 제안하는 출력 전류 왜곡 보상 기법

AC 모듈의 효율과 전류 제어기 오차에 의한 전력 맥동  $P_c$ 로 인하여 태양광 모듈 전압  $v_{pv}$ 의 맥동이 발생한다. 이 때, AC 모듈의 1차 측 전류는 식 (4)와 같이 태양광 모듈 전압에 비례하므로 태양광 모듈 전압의 맥동으로 인한 왜곡이 발생한다.

$$i_{pri,peak} = \frac{v_{pv}}{L_m} |D_{max} T_s \sin(\omega t)| \quad (4)$$

이를 해결하기 위해, 식 (5)과 같이 변화하는 태양광 모듈 전압에 따라 순시적인 통류비  $D_{max}$ 의 보상을 통하여 주 스위치  $Q_m$ 을 제어함으로써 1차 측 전류가 정류된 정현파가 되도록 한다. 여기서  $v_{pv,mpp}$ 는 MPPT 제어 시점에서의 태양광 모듈의 전압을 나타낸다.

$$i_{pri,peak} = \frac{v_{pv}}{L_m} |D_{max} T_s \sin(\omega t)| \times \frac{v_{pv,mpp}}{v_{pv}} \quad (5)$$

그림 3은 제안하는 출력 전류 왜곡 보상 기법의 블록도이다. 태양광 모듈 전압  $V_{pv}$ 과 전류  $I_{pv}$ 를 통해 MPPT 제어를 수행하여 MPPT 제어 시점의 태양광 모듈 전압을 측정한다. 출력 전류 왜곡 보상을 위해 순시적인 태양광 모듈 전압을 보상하여 기준파를 생성한다. 이를 반송파와 비교하여 PWM을 수행한다.

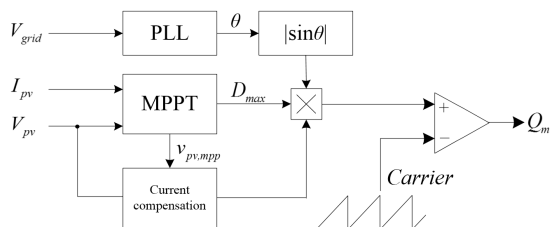


그림 3 제안하는 출력 전류 왜곡 보상 기법 블록도  
Fig. 3 Control block diagram of proposed output current distortions compensation method

### 4. 시뮬레이션

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 The system parameters

기호	파라미터	값	단위
$C_{in}$	입력 커패시턴스	200	$\mu F$
$L_m$	자화 인덕턴스	8	$\mu H$
$C_s$	출력 커패시턴스	133	nF
$L_{dec}$	디커플링회로의 입력 인덕턴스	500	$\mu H$
$f_m$	플라이백 컨버터 주파수	50	kHz
$f_B$	양방향 컨버터 스위칭 주파수	200	kHz

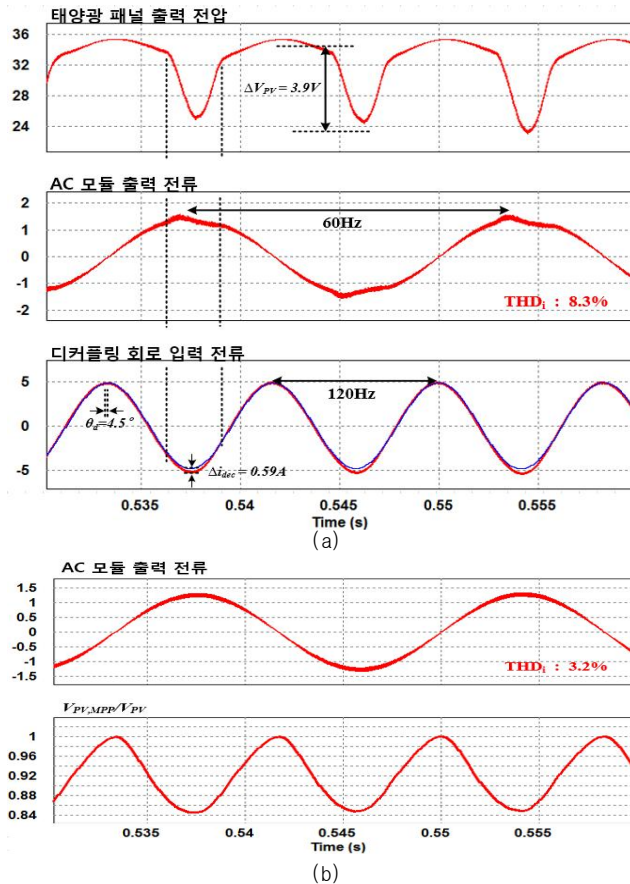


그림 4 (a) 기존 AC모듈의 주요 출력 파형  
(b) 제안된 기법을 적용한 AC모듈의 주요 출력 파형  
Fig. 4 (a) Output waveforms of the conventional AC module  
(b) Output waveforms of AC module applied to the proposed method

제안된 시스템 파라미터 값인 표 1을 적용하여 시뮬레이션 결과는 그림 4(a), (b)와 같다. 그림 4(a)는 전류 왜곡 보상 기법을 적용하기 전의 주요 출력 파형이다. 이를 제안된 출력 전류 왜곡 보상 기법을 적용할 때, 그림 4(b)와 같이 전고조파왜율(THD)이 8.3%에서 3.2%로 AC 모듈의 출력 전류 왜곡이 저감된 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 디커플링 기능을 갖는 계통 연계형 AC 모듈의 전류 왜곡 보상기법을 제안하였다. 제안된 보상 기법을 수식과 PSIM 시뮬레이션 툴을 통하여 검증하였고, 시뮬레이션 결과 제안된 보상 기법을 통해 출력 전류의 왜곡이 저감된 것을 확인하였다.

본 연구는 2014년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 참고 문헌

[1] S. Zengin, F. Deveci and M. Boztepe, "Decoupling Capacitor Selection in DCM Flyback PV Microinverters Considering Harmonic Distortion", Power Electronics, IEEE transactions on, Vol. 28, no 2, pp. 816-825, 2013, Feb.