

# 태양광 AC 모듈용 인터리브드 플라이백 인버터의 효율 개선을 위한 모드 제어 기법

윤선재, 채영우, 김영호, 강주석, 류동균, 원충연  
성균관대학교

## Mode Control Method for Improving Efficiency in Photovoltaic AC Module Type Interleaved Flyback Inverter

Sun Jae Youn, Young Woo Chae, Young Ho Kim, Ju Suk Kang, Dong Kyun Ryu, Chung Yuen Won  
Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

In this paper, the mode control method for improving efficiency in photovoltaic AC module type interleaved flyback inverter. The proposed mode control method to increase the efficiency at the low power.

### 1. 서론

태양광 전력 변환 장치 중 태양광 AC 모듈 타입은 태양광 모듈 각각에 설치되어 MPPT(Maximum Power Point Tracking)을 하며, 고장 및 부분 음영으로 인한 출력 저하에 대처가 가능하다. 그 중 인터리브드 플라이백 인버터는 태양 전지와 상용 전력 계통과의 절연이 가능하고, 소자수가 적으며 변압기의 적은 턴 수비를 이용한 높은 전압 전달 비를 가질 수 있기 때문에 PV AC 모듈 용 인버터로 적합하다.

인터리브드 회로는 각 스위치의 도통 손실을 줄여 효율을 개선할 수 있고, 입력 커패시터의 전류 리플을 줄여 수명 및 신뢰성을 높일 수 있다. 하지만 저 전력 영역에서는 다수의 스위치 사용으로 인한 스위칭 및 전도 손실로 인하여 효율이 저감된다. 제안된 방식에서는 싱글 및 인터리브드 모드의 전환을 통하여 전부하 영역에서의 손실을 줄일 수 있다. 또한 태양전지 출력이 낮은 영역에서는 싱글 모드로 동작 시키고 그 이상 영역에서는 인터리브드 모드로 동작 시킨다. 모드 전환시 전력이 원활하게 이어지기 위해서 싱글 모드에서 최대 시비율  $d_{max}$  높여 주어야 한다. 또한 태양 전지 출력 전력에 따라 모드의 영역이 가변하게 된다.

### 2. 제안된 제어 기법

제안된 방식에서 인터리브드 플라이백 인버터의 각 상의 컨버터들은 전체 용량의 절반으로 설계된다. 저 전력 영역에서 태양 전지 출력 전력에 따라 싱글 및 인터리브드 모드의 손실을 비교해 보면 싱글 모드에서의 손실이 더 적음을 알 수 있다. 또한 이 영역에서 주 스위치의 스파이크 전압은 정격 전압보다 작으므로 액티브 클램프 회로를 동작 시키지 않아도 된다. 그림 1은 태양광 AC 모듈용 인터리브드 플라이백 인버터의 회로도이다.

제안된 방식은 태양전지 출력 전력이 제한 전압인  $P_{LTD}$  이 하이이면 싱글 모드로 제어하다가  $P_{LTD}$  이상이 되면 인터리브드 모드로 제어하는 방식이다. 모드가 전환 되는 시점에서 시비율을 가변해 주어야 전력이 급상승 또는 하강이 일어나지 않는

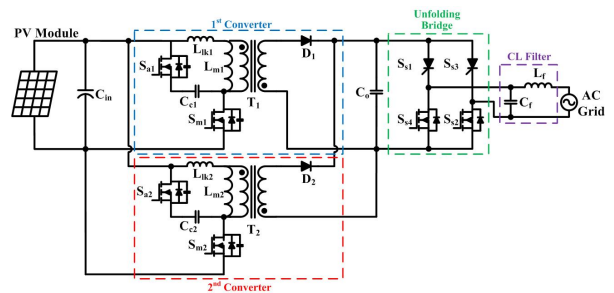


그림 1 태양광 AC 모듈용 인터리브드 플라이백 인버터의 회로도  
Fig. 1 Circuits of photovoltaic AC module type interleaved flyback inverter

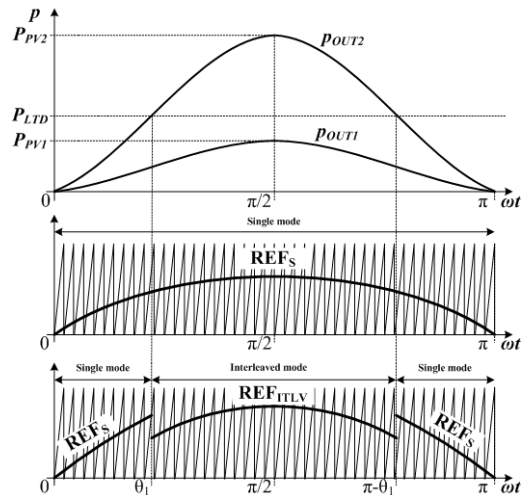


그림 2  $\rho_{pv}$ 에 따른 출력 전력과 레퍼런스 파형  
Fig. 2 output power and reference waveforms according to  $\rho_{pv}$

다. 싱글 모드일 때 시비율 제어를 통하여  $P_{LTD}$  지점에서 인터리브드 모드의 최저 전력과 일치시켜 준다. 그림 2는  $\rho_{pv}$ 에 따른 출력 전력과 주스위치의 PWM을 위한 기준파 및 반송파를 나타낸다. 태양전지 출력 전력  $p_{pv}$ 가 증가할수록 싱글 모드 영역이 좁아지고 레퍼런스의 크기가 커진다. 그러므로  $d_{max}$  값이 증가하여 출력 전류  $i_o$  또한 상승한다.<sup>[1]</sup>

상용 계통 주파수의 절반인 120Hz 동안 모드 전환되는 시점인 위상  $\theta_1$ 는 태양 전지의 출력 전력에 따라 가변되어야 한다. 각 모드 전환을 결정하는 위상은 식 (1)에 나타나있다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{P_{LTD}}{p_{pv}} \right) \quad (1)$$

$d_{max}$ 는  $p_{pv}$ 와  $v_{pv}$ 의 변화에 따라 가변된다. 싱글 및 인터리브드 모드에서의  $d_{max}$ 는 식 (2)과 (3)와 같다.<sup>[2]</sup>

$$d_{max\_S} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_m \cdot f_{sw} \cdot p_{pv}}{V_{pv}^2}} \quad (2)$$

$$d_{max\_ITLV} = \sqrt{\frac{2 \cdot L_m \cdot f_{sw} \cdot p_{pv}}{V_{pv}^2}} \quad (3)$$

주 스위치의 게이트 신호를 생성하기 위한 PWM 기준파는 앞서 계산한  $d_{max}$ 와 상용계통 전압의 PLL을 통하여 구한  $\sin(\theta)$ 를 곱하여 연산한다. 그림3은 제안된 모드 제어의 블록도이다.

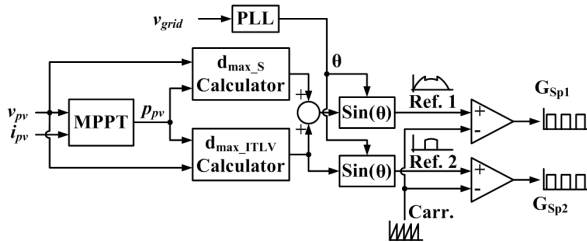


그림 3 제안된 모드 제어의 블록도  
Fig. 3 Block diagram of the proposed mode control

### 3. 시뮬레이션 결과

표 1은 시스템 사양 및 시뮬레이션의 파라미터이다. 그림 4(a)는 0~250W까지 가변 하는  $p_{pv}$ 이다. 그림 4(b)는  $p_{pv}$ 에 따른 PWM 레퍼런스 파형이다. 그림 4(c)는 계통 전압  $v_{grid}$  및 출력 전류  $i_o$ 이다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Parameters of the simulation

Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
Input Voltage $V_{pv}$	20~40	V	Input Capacitor $C_{in}$	9	mF
MPP Voltage $V_{MPP}$	30.9	V	Output Capacitor $C_{out}$	136	nF
Output Voltage $V_{out}$	220	V <sub>rms</sub>	Filter Capacitor $C_f$	33	nF
Output Power $P_{out}$	250	W	Filter Inductor $L_f$	1	mH
Switching Frequency $f_{sw}$	70	kHz	Magnetizing Inductance $L_m, L_{m2}$	8	uH
Transformer turns-ratio $n$	6		Secondary Leakage Inductance $L_{k1}, L_{k2}$	0.05	uH

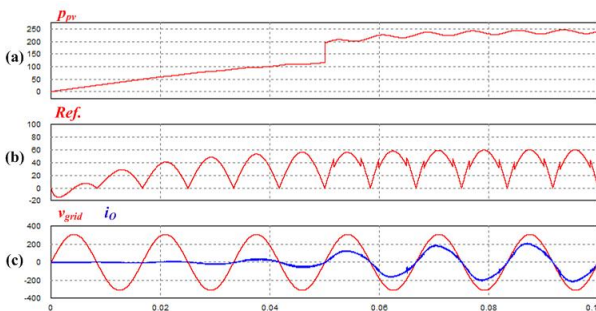


그림 4  $p_{pv}$ 에 따른 레퍼런스와 출력 전류 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulation waveforms of reference and output current according to  $p_{pv}$

그림 5는 각 부 파형이다. 그림 5(a)는  $p_{pv}$ 이다. 그림 5(b)는 주스위치의 스위칭 파형이고, 그림 5(c)는 액티브 클램프 스위치의 스위칭 파형이다.  $P_{LTD} = 125W$  이하에서는 싱글 모드이고  $P_{LTD}$  이상에서는 인터리브드 모드로 동작함을 알 수 있다. 그림 5(d), (e)는 메인 스위치의 전류 및 전압 파형이다. 그림 5(f)는 2차 측 동기 정류 다이오드의 전류 파형이다. 변압기 턴 수 비에 의해 1차 측 전류의  $1/n$  배 낮은 전류가 흐르게 된다. 싱글 모드일 때는 1<sup>st</sup> 컨버터만 동작하게 되고 인터리브드 모드 일 때는 1<sup>st</sup>와 2<sup>nd</sup> 컨버터가 모두 동작하는 것을 확인하였다.

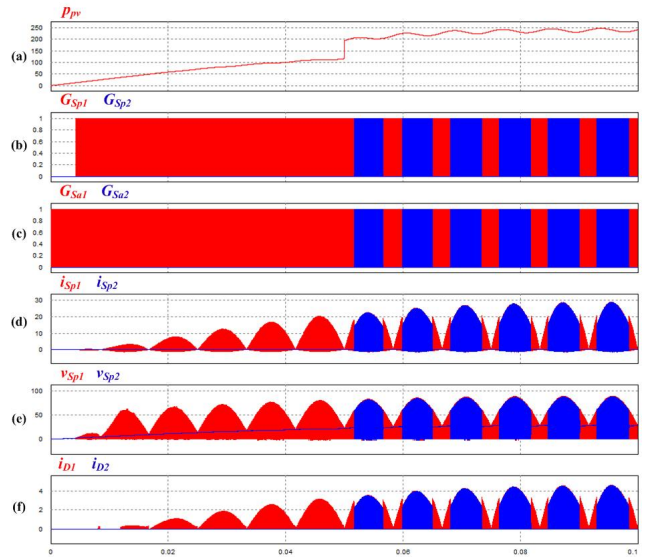


그림 5  $p_{pv}$ 에 따른 각 부 파형  
Fig. 5 Waveforms of each part according to  $p_{pv}$

### 4. 결론

본 논문에서는 태양광 AC 모듈용 인터리브드 플라이백 인버터의 효율 개선을 위한 모드 제어 기법을 제안하였다.  $p_{pv}$ 에 따라  $P_{LTD}$  이하의 영역에서는 싱글 모드로  $P_{LTD}$  이상의 영역에서는 인터리브드 모드로 전환 되었다. 그에 따라 주 스위치의 스위칭 신호를 위한 PWM 레퍼런스 파형의 최대치와 각 모드의 영역이 가변되어야 한다. 제안된 모드 제어 기법의 이론적 분석은 PSIM 시뮬레이션을 통하여 확인되었다.

### 참고 문헌

- [1] Qiong Mo, Min Chen, Zhe Zhang, Yuru Zhang, Zhaoming Qian, "Digitally controlled active clamp interleaved flyback converters for improving efficiency in photovoltaic grid connected micro inverter", APEC, Twenty Seventh Annual IEEE, pp. 555-562, 2012, Feb.
- [2] Nanakos. A.C., Tatakis. E.C., Papanikolaou. N.P., "A Weighted Efficiency Oriented Design Methodology of Flyback Inverter for AC Photovoltaic Modules", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 27, Issue 7, pp. 3221-3233, 2012, July.