

250W급 태양광발전 시스템용 DC-MIC 최적 주파수 제어 기법

이영달, 김동희, 이희서, 이병국*
 성균관대학교 정보통신공학부

Control Method of High Efficient Optimal Frequency for 250W Photovoltaic DC-MIC

Young Dal Lee, Dong Hee Lee, Hee Seo Lee and Byoung Kuk Lee*
 College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 태양광 발전의 주변 환경 변화에 종속적인 태양광 모듈 출력을 개선하기 위해 사용되는 태양광 발전 시스템용 DC MIC (Module Integrated Converter) 의 효율 향상을 위한 주파수 제어 기법을 제안한다. 최적 주파수 제어 기법을 위해 전부하 범위 DC MIC의 효율을 이론과 실험을 통해 분석하였고 이를 바탕으로 기존의 고속의 스위칭 주파수 대비 스위칭 주파수를 낮춰 효율을 높이고 과도 상태 구간 동안 주파수를 높여 시스템 응답 속도를 높이는 시스템을 구현한다.

1. 서론

지구 온난화와 화석 연료의 고갈 등과 같은 환경 문제의 대안으로 태양광을 이용한 연구가 화두로 떠오르고 있다. 이러한 태양광 발전 시스템의 일사량 불평형과 같은 외부 환경에서 개별 모듈의 최대 전력을 추종하는 250W급 DC MIC는 중앙 인버터와의 안정적인 동작을 위해 전 부하 영역에서 고주파수 스위칭 동작을 한다. 그러나 스위칭 주파수를 높게 가져가면 효율이 전반적으로 낮기 때문에 기존의 시스템 대비 전 부하 영역 효율 향상 폭을 넓히고 기존의 빠른 제어 응답 특성 향상의 장점을 가지는 주파수 제어 기법을 제안한다. 이를 위해 본 논문은 부하별 주파수에 따른 DC MIC의 효율을 분석하였고 이를 바탕으로 주파수 제어 방법을 제안하였으며 가상의 태양광 모듈을 제공하는 PSIM을 활용한 시뮬레이션과 실제 하드웨어에 적용한 실험을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 DC-MIC 회로의 구성 및 동작

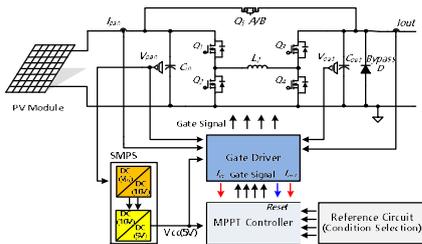


그림 1 DC-MIC 내부 구조
 Fig. 1 Inner Structure of DC-MIC

표 1 DC-MIC 시스템 파라미터
 Table 1 Parameters of Photovoltaic DC-MIC

Parameter	Value	[Unit]
PV Power Range	10.0 ~ 250.0	[W]
PV Voltage Range	15.0 ~ 40.0	[V]
Maximum Output Voltage	43.0	[V]
Maximum Output Current	12.5	[A]

그림 1은 본 논문의 분석을 위해 실제 사용된 태양광 모듈 집적형 DC MIC의 토폴로지와 보조 회로를 포함한 시스템의 구조를 나타내고 표 1은 본 시스템의 정격 파라미터를 나타낸다. 활용된 토폴로지는 승압 및 강압 동작이 가능한 유형의 Cascaded Buck Boost 컨버터이다. 일사량 불평형과 같은 외부 조건이 발생한 단일 혹은 개별 모듈들은 DC MIC의 개별 MPPT에 의해 전력 변환을 수행한다.

2.2 주파수에 따른 효율 분석 및 제어 기법



그림 2 DC-MIC 실험 세트 구성도
 Fig. 2 Configuration of DC-MIC for Experiment

DC MIC 동작 시 발생하는 손실을 이론적으로 분석하고 이를 바탕으로 실제 실험을 통해 검증하였다. 주파수 가변 범위는 DC MIC와 중앙 인버터와의 안정적인 동작을 위해 중앙 인버터의 스위칭 주파수의 3배인 100kHz를 최소 주파수 범위로 하여 기존의 고스위칭 주파수인 200kHz 까지 전부하 범위 손실을 분석하였다. 전 부하 범위 효율 향상과 빠른 제어 응답 특성을 위해 가능한 가장 낮은 스위칭 주파수인 100kHz를 적용하였고 입·출력 전압 전류 Ripple을 고려하여 경부하 영역에서 효율 향상 폭을 더 높게 가져갈 수 있음을 이론적으로 분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 그림 2의 실제 하드웨어에 주파수를 가변하며 측정된 효율과 전압 리플은 그림 3과 같다.

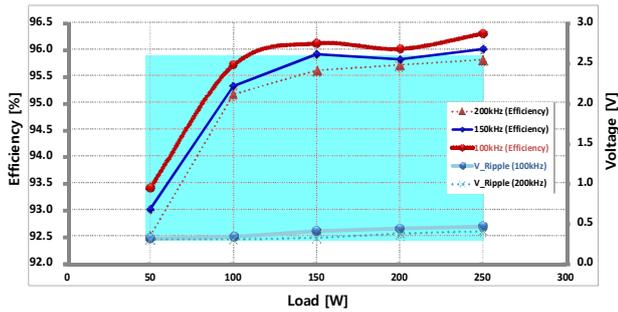
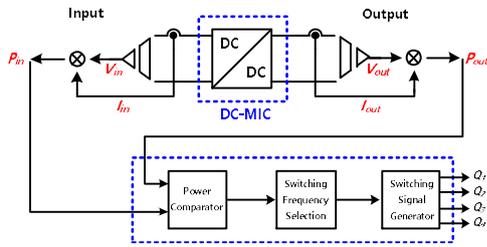
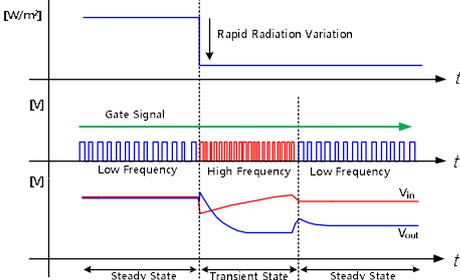


그림 3 주파수에 따른 DC-MIC 효율 분석
Fig. 3 Analysis of Efficiency for DC-MIC according to Frequency

효율 측정 결과를 토대로 전 부하 범위에서 주파수를 가장 낮게 가져가 효율을 높이고 일사량 가변에 의한 태양광 모듈 출력이 급변 시 발생하는 과도 상태 구간의 순간적인 제어 응답 속도 향상을 위해 스위칭 주파수를 높임으로써 효율 향상과 빠른 제어 응답을 통해 시스템이 보다 안정적으로 동작할 수 있는 알고리즘을 제안한다[1].



(a) 입 출력 전력 비교 및 스위칭 주파수 가변



(b) 일사량 가변 시 스위칭 주파수 가변 개념도

그림 4 DC-MIC 주파수 제어 기법
Fig. 4 The Control of Adaptive Frequency for DC-MIC

적용된 알고리즘은 정상 상태일 경우 입·출력 전력의 차이가 크지 않는 것에 착안하여 그림 4와 같은 제어를 수행하였다. 이는 식 (1)에 나타난 것처럼 입·출력 전력의 차이인 P_{comp} 가 지정된 범위의 조건을 통해 상태 판별을 하고 식 (2)에서 판별된 상태를 통해 스위칭 주파수를 가변하는 제어 방법이다.

$$P_{comp} \leq Max, P_{comp} \geq Min \quad (1)$$

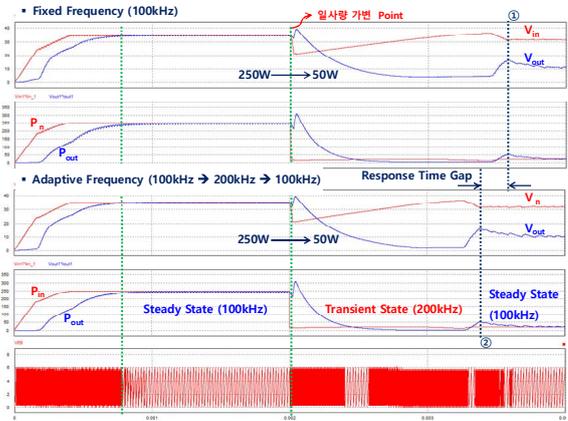
$$S_{distinction} : 1, Steady State (Low Frequency) \quad (2)$$

$$0, Transient State (High Frequency)$$

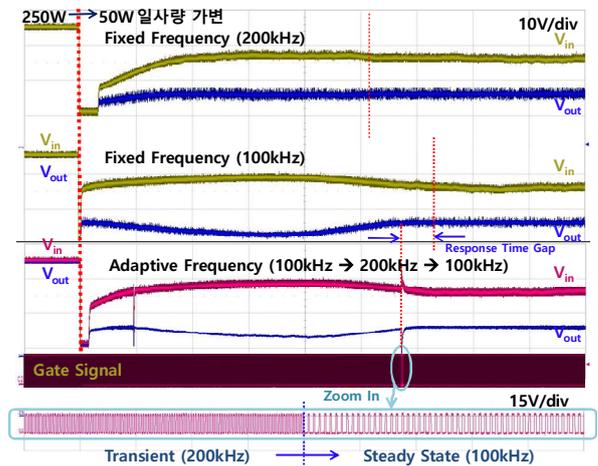
3. 실험 및 결과

분석한 결과와 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해

PSIM을 활용한 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 그림 5(a)와 같이 일사량이 급변해 과도 상태가 발생 시 주파수를 가변할 경우 응답 특성이 빨라진다. 이러한 제어 기법을 실제 하드웨어인 DC MIC에 적용한 결과는 그림 5(b)로 시뮬레이션과 같이 응답 특성이 빨라진 것을 볼 수 있다.



(a) 고정 주파수 및 가변 주파수 시뮬레이션



(b) 고정 주파수 및 가변 주파수 실험 결과

그림 5 주파수 제어 시뮬레이션 및 실험 결과

Fig. 5 The Simulation and Experiment for Adaptive Frequency

4. 결론

본 논문은 태양광 발전 시스템의 부분적 차광 및 일사량 불평형의 외부환경에서 개별 모듈의 최대 전력을 추종하는 250W 급 DC MIC의 전 부하 범위 기존의 고속 스위칭 주파수 대비 효율 향상과 빠른 제어 응답 특성을 위한 주파수 제어 기법을 제안하였다. 이러한 알고리즘을 적용할 경우 보다 나은 효율 향상 폭과 빠른 제어 응답을 취할 것으로 기대된다.

본 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] Y Y Mai and P K T Mok, "A constant frequency output ripple voltage based buck converter without using larger ESR capacitor," IEEE Trans Circuit Syst II, Exp Briefs, vol 55, no 8, pp 748 752, Aug 2008