

PV 스트링의 모듈 부정합 보상용 컨버터

박 기엽*, 안 희욱**
금오공과대학교 전자공학부

Converter to Compensate for PV Module Mismatch in Solar PV String

Gi-Yob Park*, Hee-Wook Ahn**

Dept. of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

ABSTRACT

Mismatch of electrical characteristics of modules in PV string invokes mismatch power loss. The mismatch occurs due to various causes such as shadow, aging, contamination, and module exchange. The concept of mismatch compensation converter(MCC) is presented in this paper to remedy the mismatch loss problem. MCC is connected to irregular modules only. MCC is composed of dc-dc converter and MPPT controller. It is noted that MPPT algorithm is employed to control MCC and is effective for maximum power available from irregular modules. The selection guide of MPPT control period is given based on the period of MPPT in PCU. The effectiveness of the MCC is verified by a prototype experiment.

1. 서 론

최근 화석연료의 고갈과 환경오염에 대한 사회적 관심의 증가로 신재생 에너지에 대한 기술개발이 활발하다. 특히 태양광 에너지는 다른 에너지원에 비하여 지속가능하고 실용화가 쉽다는 점에서 주목 받고 있는 에너지원이다. 태양광 발전시스템은 대부분 전력이 작은 태양전지 모듈(PV module)을 직렬로 연결한 스트링(String)구조 또는 직병렬로 연결한 어레이(Array) 구조를 구성하여 보다 큰 전력을 얻고 있다.

PV 시스템은 사용되는 모든 모듈의 전기적 특성이 동일하다는 전제하에 설계된다. 그러나 그림자, 특성 열화, 모듈 교체 등의 원인에 의해 모듈 간에 전기적 특성 차이가 나타나는 모듈 부정합(不整合, mismatch)이 발생하면 시스템 전체의 발전 효율은 감소하고 경제성이 낮아진다는 문제가 있다.^{[1][4]} 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 모듈 일체형 컨버터(Module Integrated Converter)가 제안되었다.^{[2][3]} 이것은 부정합 손실을 저감시키기 위하여 스트링 내의 모든 모듈에 컨버터를 설치하는 방법이다. 그러나 모든 모듈에 컨버터를 설치하면 설치비용이 상승하고 컨버터에서의 전력 손실이 발전 효율을 저하시킨다는 문제가 있다.

모듈 부정합의 원인 중에서, 모듈의 파손에 따른 교체와 같이 부정합의 원인이 되는 모듈이 명확하고 수량이 많지 않은 경우에는, 원인 모듈만 보상하는 기법이 타당성을 갖는다.^[4] 본 논문에서는, 이러한 경우에 사용할 수 있는 부정합 보상 컨버

터에 대하여 구현 방법과 제어기법을 제안하고, 실제 PV 스트링에 적용한 실험을 통하여 그 효과를 확인한다.

2. 모듈 부정합 현상과 보상 원리^[4]

PV 시스템은 PV 스트링에서 발생된 전압을 부하 측에 적절한 전압으로 변환하여 공급하는 전력 변환 장치(Power Control Unit, PCU)를 포함하며, PCU에는 PV 모듈의 최대 전력을 이용하기 위한 최대 전력점 추적(MPPT)기능이 구비되어 있다. MPPT 기능은 스트링을 구성하는 모든 모듈의 전기적 특성이 같고 PV 스트링을 구성하는 각각의 모듈은 동일한 최대 전력점을 가진다는 전제하에 설계한다. 그러나 모듈간의 전기적 특성이 다른 경우 즉, 부정합이 발생한 경우에 각 모듈은 서로 다른 최대전력점(MPP, Maximum Power Point)를 가지게 되고, PCU의 MPPT 기능이 정상적으로 동작하여도 스트링의 최대 전력은 각 모듈의 최대전력의 합보다 작아진다. 두 전력의 차이를 부정합 손실이라고 한다.

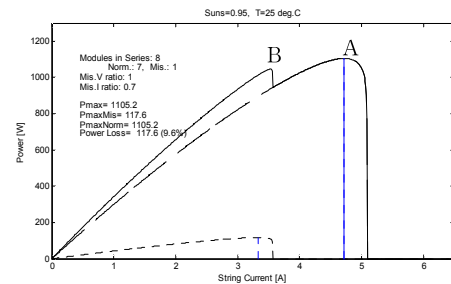


그림 1. 모듈 부정합이 있는 PV 스트링의 전력-전류 특성 예

Fig.1 Example of P-I characteristics of PV string with module mismatch

그림 1은 모듈 8개가 직렬 연결된 PV 스트링 내에 비정규 모듈이 한 개가 포함된 경우에 대하여 전력-전류 특성 곡선을 구하기 위해 시뮬레이션을 실시한 결과이다. 비정규 모듈의 단락전류가 정규 모델의 단락전류의 0.7배인 경우인데 국지적 MPP가 두 곳에 나타남을 알 수 있다. 이런 경우, PCU의 MPPT 기능에 의하여 동작점은 A 또는 B로 결정된다. 만약 A 점에서 동작하면 스트링 전류는 비정규 모듈의 단락전류보다 크므로 비정규 모듈의 바이패스 다이오드로 전류가 흐르고 비정규 모듈은 출력 발생이 불가능하게 된다. 그리고 B점에서 동작하면 비정규 모듈은 최대전력을 발전하지만 그 외의 정규 모듈은 최대전력점이 아닌 곳에서 작동하게 된다. 결국 어떤 경

우에도 모든 모듈의 최대전력을 활용할 수 없게 되어 부정합 손실이 생긴다는 것을 알 수 있다.

이러한 부정합 손실을 방지하기 위한 방법으로서 부정합 보상 컨버터(Mismatch Compensation Converter, MCC)라는 개념을 도입한다. DC-DC 컨버터의 전류 증폭 기능을 활용하면 그림 2와 같이 전류 부정합 모듈의 V-I 특성을 변환시킬 수 있다. 부정합 모듈의 MPP 전류를 변환시켜 스트링의 MPP 전류에 일치시키면, 스트링 전체의 MPP는 한 개만 존재하게 되고 모든 모듈은 최대전력을 발생하게 되므로 부정합 보상을 할 수 있다.

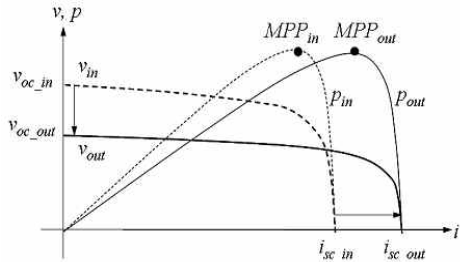


그림 2. 부정합 보상 컨버터(MCC)에 의한 모듈 특성 변환
Fig. 2 Conversion of module V-I characteristic by MCC

3. 부정합 보상 컨버터(MCC) 구현

MCC는 전류 증폭용 DC-DC 컨버터, 그리고 비정규 모듈의 MPPT 최대 전력점 전류가 PV 스트링의 최대 전력점 전류와 일치하도록 DC-DC 컨버터를 제어하는 제어기로 구성되어야 한다.

3.1 컨버터 설계

MCC의 전력변환 회로를 결정할 때 고려할 요소는 전류 변환비(current conversion ratio)와 전력 처리용량, 그리고 입출력 절연 등이다.

1) PV 스트링에서의 모듈 부정합에 의한 손실이 가장 심각한 경우는 비정규 모듈의 전류정격이 부족할 때이므로^[4] 이를 보상하기 위해서는 컨버터의 출력 전류는 모듈의 출력 전류(또는 컨버터의 입력 전류)보다 커야한다. 즉, 전류변환비는 1보다 클 것이 요구된다. 이것은 전압변환비가 1보다 작은 것에 해당한다.

2) 전력 처리용량은 PV 모듈의 전력정격보다 커야 한다. PV 모듈의 현실적인 전력 정격이 200W 정도임을 고려하여 판단할 수 있다.

3) 입출력 절연은 필요하지 않은 상황이다.

4) 전력 손실이 작아야 하고, 고 신뢰성을 위해 사용 부품 수가 작아야한다. 또한 설치가 용이하여야 한다.

위의 조건을 만족 시킬 수 있는 것으로 벡-컨버터(Buck Converter)를 선정하였다. 벡-컨버터는 입출력 간 절연이 필요 없고, 전류 증폭률이 1보다 크면서 회로구성이 간단하다는 장점을 가지고 있다. 제어회로는 디지털 방식으로 구현하고, 제어 회로용 전원은 PV 모듈의 출력에서 공급한다. 그림 3은 스트링 내의 비정규 모듈에 부정합 보상 컨버터(MCC)를 연결하는 예를 나타낸다.

3.2 MPPT 제어 기법

그림 3의 회로에서, 스트링 전류(i_{str})는 PCU의 MPPT에 의하여 결정되고, MCC의 출력 전류(i_{mcc})는 PV 스트링의 전류와 동일하게 유지 된다. 컨버터의 듀티비를 조정하면 $i_{im} = D * i_{str}$ 관계에 의하여 비정규 모듈의 출력전류(i_{im})를 제어 할 수 있으므로 비정규 모듈을 최대전력점에서 동작하게 할 수 있다. 그리고, 최대전력점 추적을 위해서는 출력전력($i_{mcc} * v_{mcc}$)을 측정하여야 하지만, 출력전류가 고정된 상황이므로 최대전력은 최대전압에 해당하고 따라서 출력전압 최대화 기법을 적용할 수 있다. 이 방법은 전압만 측정하므로 회로 구현이 용이하다.

그림 4는 MPPT 제어 알고리즘을 나타낸다. 기본적으로는 출력전압 최대화를 위한 등고법(Hill-Climing Method)^[5]을 적용한 것이지만 반복 루프의 주기를 결정할 때에는 PCU의 MPPT 주기를 고려하여야 한다.

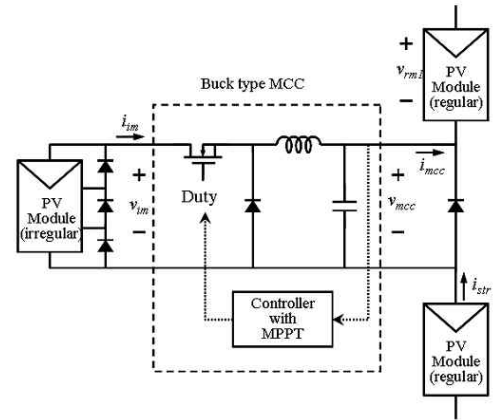


그림 3. 부정합 보상 컨버터(MCC)의 구현 예
Fig.3 Implementation of Mismatch Compensation Converter

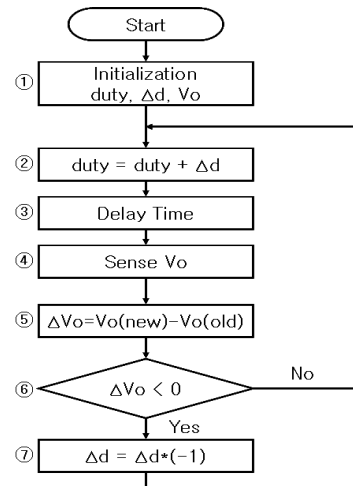


그림 4. MCC의 MPPT 알고리즘
Fig.4 Algorithm for MPPT in MCC

MCC의 제어 주기의 설정은 Central PCU의 MPPT 기능과의 상호 간섭이 발생할 수 있으므로 PCU의 MPPT 제어 주기보다 상대적으로 길게 설정하여야 한다. 또한, MCC의 제어 주

기가 지나치게 길어지게 된다면 구름이나 그림자에 영향을 받을 수 있다. 그림 5는 PCU의 MPPT 기능에 의한 스트링의 동작점의 변화를 나타낸다. B점과 C점의 전력이 동일한 경우이면 동작점은 A와 D 사이를 반복하게 되고, 반복 주기는 MPPT 제어 주기의 6 배가 된다. 이것은 스트링 전류의 변화 주기에 나타난다. 컨버터는 출력전압의 평균치를 측정하여 MPPT 동작을 하지만 PCU의 MPPT 기능과의 간섭을 피하기 위해 최소 6배의 주기를 필요로 한다. 모듈 부정합은 급변하는 현상이 아니므로 MCC의 Duty 변경 주기를 지나치게 짧게 할 필요는 없다. 따라서 MCC의 제어주기는 PCU의 MPPT 주기의 6배 이상이 바람직하다.

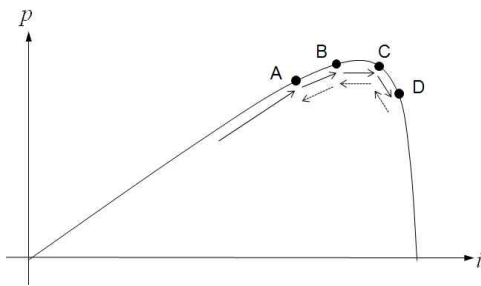


그림 5 PCU의 MPPT 기능에 의한 스트링 동작점 변화
Fig. 5 Change of operating point due to MPPT in PCU

그림 4의 알고리즘에서 단계3의 지연시간과 단계4의 전압 측정 시간은 위의 MPPT 주기를 결정하기 위한 것이다. 전압 측정 시에는 주기 동안의 평균 전압을 측정할 수 있도록 하여야 한다.

4. 실험 결과

MCC의 효과를 확인하기 위하여, 최대전력 175W급 모듈 8개가 직렬 연결된 스트링 한 개와 계통연계형 PCU 한 대로 구성된 PV 시스템에 그림 3처럼 MCC를 연결하였다. MCC는 기본적인 백-컨버터 회로를 사용하고 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 제어부를 구성하였다. 비정규 모듈 대신에 1개의 모듈에 차광막을 설치하여 부정합 사례를 구현하였다. 그림 6과 그림 7은 비정규 모듈에 연결된 MCC를 ON, OFF(75초), ON(170초) 시킬 때의 MCC의 입출력 전압, 전류와 스트링의 전압, 전류, 전력에 관한 특성을 데이터 로거로써 측정 한 것이다. 그림 6에서 MCC가 ON된 구간을 관찰하면, 비정규 모듈의 출력전류는 MCC에 의하여 증폭되어 스트링 전류로 되고, 비정규 모듈의 출력전압은 감소된 것을 확인할 수 있다. 즉, 비정규 모듈의 전압, 전류 특성이 그림 2와 같이 변화하였음을 나타내고 있다.

그림 7은 PV 스트링의 특성을 나타낸 그래프이다. MCC가 OFF 되었을 때의 스트링 전력은 1100W 정도이고 ON 되었을 때에는 1200W 정도이므로 MCC 사용에 의해 100W 만큼 전력이 증가했음을 알 수 있다. 이것은 비정규 모듈의 부정합을 보상하는 MCC의 효과가 나타나 결과에 해당한다.

5. 결론

PV 스트링 내의 모듈 부정합에 의한 효율 저감을 방지하기 위한 방법으로서, 비정규 모듈에만 설치하는 dc-dc 컨버터와

제어기법을 제안하고 그 효과를 확인하였다. 비정규 모듈의 최대전력점 전류를 정규 모듈의 최대전력점 전류와 일치 시키는 역할을 가지는 컨버터로는 백-컨버터를 적용하고, 비정규 모듈의 MPPT 기능을 제어회로에서 구현하도록 하였다. 제어회로에서 MPPT에 필요한 스위칭 듀티 변화 주기는 스트링 PCU의 MPPT 제어 주기보다 충분히 크게 하여야만 상호 간섭에 의한 불안정을 방지할 수 있다. 소규모 실험을 통하여 이러한 컨버터의 효과를 확인 하였다. 제안된 기법을 PV 스트링 구조 뿐만 아니라 PV 모듈이 어레이 구조로 결선된 경우에도 적용한다면 PV 시스템의 경제성 확보에 기여할 것으로 예상된다.

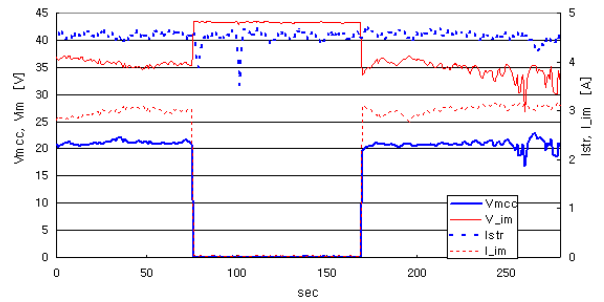


그림 6 MCC의 입출력 전압-전류 특성
Fig. 6 MCC V-I characteristics

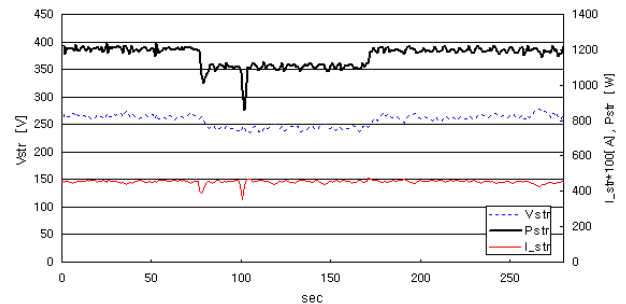


그림 7 MCC 사용에 의한 보상 효과
Fig. 7 Compensation effect by using MCC

참고 문헌

- [1] S.B.Kjaer, K.Pedersen, F.Blaabjerg, "A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for PV Modules", IEEE Tr. on IA, Vol.41, No.5, pp.1292-1306, 2005.
- [2] G. Walker, "Evaluating MPPT Converter Topologies using MATLAB PV Model", J. of Electrical & Electronics Engineering Australia, Vol.21, pp.49-56, 2001.
- [3] G. Walker, P. Sernia, "Cascaded DC-DC Converter Connection of Photovoltaic Modules", IEEE Tr. on P.E., Vol.19, No.4, pp.1130-1139, July 2004.
- [4] 안희숙, "태양광 PV 스트링에서의 모듈 부정합 손실의 분석 및 개선 기법 타당성 연구", 한국태양학회 논문집, Vol. 29, No. 1, pp.58-63, 2009.
- [5] T. Esum, P.L.Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Tr. on Energy Conversion, Vol.22, No.2, pp.439-449, June 2007.