

# 태양광 발전 시스템을 위한 계통연계제어 알고리즘에 관한 연구

이성룡 · 전철환 · 고성훈

군산대학교 공과대학 전자정보공학부

## A Study on the Grid-connective Control Algorithm for PV Power Systems

S. R. Lee, S. H. Ko

School of Electronic and Information Engineering, Kunsan National University

### ABSTRACT

Increasing of the use nonlinear power electronics equipments, power conditioning systems have been researched and developed for many years to compensate the harmonic disturbances and the reactive power. The main function of power conditioning systems is to reduce harmonic distortions, since extensive surveys quantify the problems associated with electric networks having non-linear loads. The main function of power conditioner compensates the current instead of the voltage. Therefore the inverter used in power conditioner is mostly current controlled type. In this paper, the proposed current control algorithm is analyzed and discussed about how to design the controller which can apply power conditioning operation for grid-connective PV power system. And also proposed control system. To verify the proposed current control algorithm, a comprehensive evaluation with theoretical analysis, simulation results is presented.

### 1. 서 론

최근에 급격한 산업의 발전으로 인하여 전력에너지 수급 문제는 국내외적으로 가장 심각한 문제로 보고되고 있으며, 연구의 방향은 기존의 자원의존형 에너지 확보전략에서 에너지효율 향상이나 신 에너지 개발과 같은 기술의존형 전략접근이 그 주종을 이루고 있다. 따라서, 전 세계적으로 지구환경 변화에 대응하기 위하여 깨끗한 대체에너지원으로서 태양광이나 풍력과 같은 대체에너지이용 시스템, 에너지 저장 및 변환 시스템, 분산 전원 시스템 등에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 산간벽지나 낙도 등의 오지에 전력을 공급하기 위한 수단과 대도시 지역의 순시전력 보상기능으로서의 태양광 및 풍력 발전시스템이 주목을 받고 있다. 또한 산업시설에서 가전제품에 이르기까지 전원에 민감한 전자부품 및 장비가 급증함에 따라 고조파 및 무효전력과 같은 전력외란을 보상하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 계통의 고조파는 계기의 오동작, 역률저하, 전압 불평형 등의 문제를 발생시키기 때문에 IEC, IEEE 등에서 고조파에 대한 표준 가이드 라인을 설정하고 이를 규제하고 있다. 또한 지역 및 시간별로 부하편차가 크게 변화하고 있는데 이를 해결하기 위한 방안으로 대체에너지원과 연관한 발전 시스

템을 구성하여 제어하는 계통 연계형 제어시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

계통 연계형 시스템은 크게 UPS(Uninterruptible Power Supply), Power Conditioner 그리고 DSM(Demand Side Management)으로 나누어진다. UPS는 전원장애시 전력을 즉시 공급할 수 있는 장치이며, Power conditioner는 전기적인 간섭과 주파수 변동, 고조파 등을 억제함으로써 계통의 품질을 향상시키는 기능을 수행한다. 또한 DSM은 높은 부하와 낮은 부하사이의 부하변동에 따른 계통의 편차를 제거하고 부하운전 스케줄에 따라 전력을 효율적으로 관리할 수 있어, 태양광, 풍력, 연료전지와 같은 대체 에너지 등을 이용한 전원과 연계해서 부하운전 스케줄에 따라 전력을 효율적으로 제어하는 데 주로 사용한다. 특히 독립된 발전설비를 이용하는 수용가에 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 앞서 설명한 UPS, Power Conditioner 그리고 DSM 등의 시스템을 부하에 따라 효율적으로 제어할 수 있어야 한다.[2]

계통연계시스템의 제어방식으로는 전류제어 방식을 주로 사용하는데, 계통의 무효전력 보상 기능이 요구되기 때문에 양방향 전류제어형 인버터가 필요하다. UPS와 power conditioner의 경우 계통의 상태에 상관없이 상시 운전해야 하기 때문에 인버터의

효율은 매우 중요하며, 또한 DSM의 경우에는 분산 전원으로 대체에너지를 사용하고 있는데 이들의 에너지 변환효율은 극히 낮기 때문에 전체시스템을 효율을 향상시키기 위해서는 인버터의 효율이 중요하다. 따라서, 고조파 저감 및 무효전력 보상 기능과 인버터의 소프트-스위칭 할 수 있는 전류제어 알고리즘이 중요함을 알 수 있다.[6]

그러므로 본 논문에서는 수용가에 전력을 효율적으로 관리하고 공급할 수 있도록 계통을 제어할 수 있는 전류제어기법을 이론적으로 해석하여 시스템 제어 알고리즘을 도출하였으며, 이를 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘이 고조파 저감 및 무효전력 보상 작용을 충실히 수행함을 보였다.

## 2. 본 론

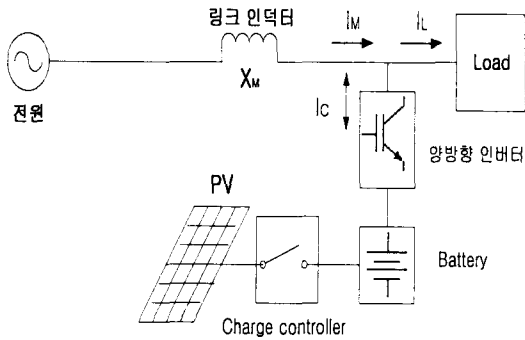


그림 1. 태양광 발전을 이용한 계통연계 제어시스템 블록선도

그림 1은 태양광 발전을 이용한 계통연계 제어 시스템의 블록선도이다. 시스템은 상용전원, 태양광 발전 시스템과 양방향 전류제어형 인버터로 구성된다. 계통과 인버터는 링크 인덕터에 의해 동기되고 분리되며, 배터리는 태양전지에 의해서 충전되고, 양방향 전류제어 인버터는 부하에 직접 연결된다. 양방향 인버터는 배터리 전압을 이용해야 함으로 전압형 인버터를 사용해야 하고, 계통안정화 및 무효전력 보상기능과 고조파 저감등을 수행해야 함으로 제어기법은 전류제어 기법을 사용해야 한다. 또한 인버터의 효율을 향상시키기 위해서 소프트-스위칭 인버터를 사용해야 한다. 따라서 본 논문에서는 그림 2의 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터를 계통연계제어용 양방향 인버터로 채택한다.

다이오드 브릿지-타입 ZVT 토폴로지는 일반적인 단상 풀-브릿지 인버터에 다이오드 브릿지-타입의 보조공진 회로를 출력단에 연결한 형태로 보조스위

치를 하나만을 사용함으로써 원가절감 및 제어의 용이성의 장점을 가진다.[5]

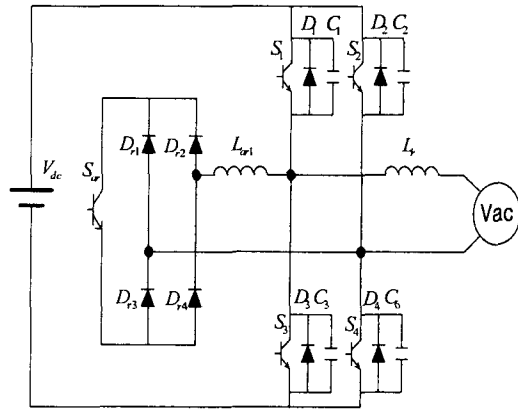


그림 2. 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터

그림 3과 4는 계통연계 시스템의 전류제어 원리를 해석하기 위한 등가회로 및 페이저 선도이다.

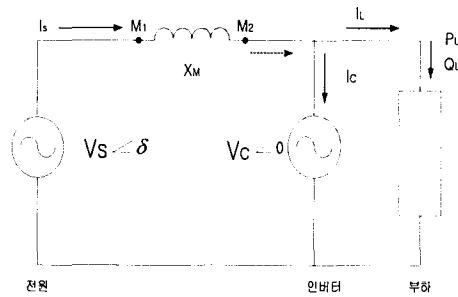


그림 3. 계통연계 시스템의 등가회로

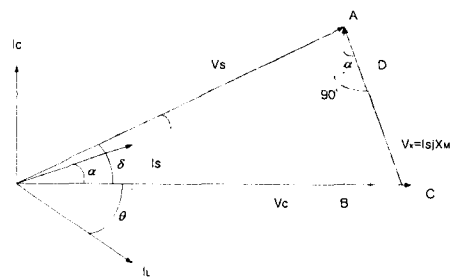


그림 4. 계통연계 시스템의 페이저 선도

그림 3에서처럼 입력 전압원과 인버터는 각각  $V_s$ 과  $V_c$ 로 표현 할 수 있으며  $\delta$ 는 인버터를 기준으로 한 위상차이다. 전력 성분은 유효전력성분(P)과 무효전력성분(Q)으로 나눌수가 있다. 여기서 링크 인덕터가 충분히 크다고 가정하면 인덕터 양단간의 전압  $V_x$ 는 입력전원 전류  $I_s$ 와 90도 위상차

가 발생한다. 각각의 페이저 선도를 그림 4에 보였다. 여기서  $\alpha$ 는  $V_c$ 와  $I_s$ 의 위상차이고,  $\beta$ 는  $V_s$ 와  $I_s$ 사이의 위상차이다. 따라서, 유효전력성분과 무효 전력성분은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = V_s i_s^* = P + jQ \quad (1)$$

$$P = \frac{V_s V_c}{X_M} \sin \delta \quad (2)$$

$$Q = \frac{V_s^2 - V_s V_c}{X_M} \cos \delta \quad (3)$$

따라서 인버터 측의 무효전력성분을 제어함으로써 부하변동에 대응하는 계통전력의 제어가 가능하다. 이에 따라 전류제어루프를 갖는 시스템 제어 블록선도를 그림 5에 보였다.

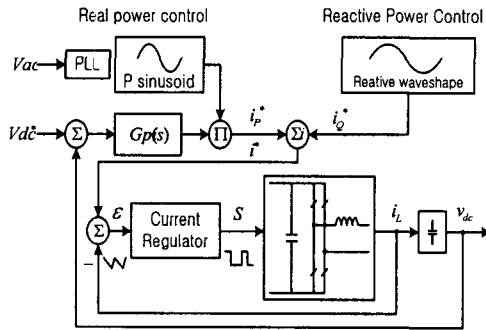


그림 5 전류제어루프를 갖는 시스템 제어 블록선도

그림 5는 유효전류성분  $i_p^*$ 와 무효전력성분  $i_q^*$ 를 연산하여 지령치 전류  $i^*$ 를 생성하게 된다. 전원의 고조파 저감 및 무효전력을 보상하기 위해서는 전원전류는 유효전류만을 공급하고, 무효전류는 인버터에서 공급해야 한다. 즉  $I_s = I_p$ ,  $I_L = I_Q$ 가 될 수 있도록 제어해야 한다. DSM 같은 경우 인버터는 무효전류뿐만 아니라 유효전류도 공급할 수 있도록 제어해야 한다.

### 3. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 제안한 계통연계제어시스템의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였고 조건은 표 1과 같다. 여기서 태양광 발전 시스템은 DC 전압원으로 대체하였다.

표 1 시뮬레이션 조건

Parameter	Value	Parameter	Value
Van	220V	fi	60Hz
Vdc	380V	Lr	20mH
Ia	15A	Lar	20uH
fsw	20kHz	Cr	15nF

먼저 제안된 제어 알고리즘의 계통 안정화 및 고조파 저감 및 무효전력 보상기능에 적합한지 확인하기 위하여 R-L 부하 일 경우의 power conditioning과 DSM을 시뮬레이션 하였다.

그림 6은 입력전원전압과 전류 파형으로 위 파형은 전압이며 아래 파형은 전류 파형으로 제어를 수행하지 않은 파형으로 고조파 및 무효전력 보상 기능의 역할을 할 수 없음을 보여주고 있다.

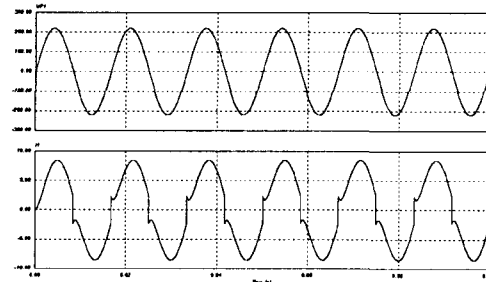


그림 6. 입력전압과 전류 파형 비제어시

그림 7은 고조파 저감 및 무효전력 보상 기능을 수행하기 위하여 제안된 시스템제어기법 중 power conditioning을 수행한 파형으로, 위로부터 입력 전원 전압, 입력 전류, 부하 전류, 인버터 전류이다. 부하전류는 R-L 부하이기 때문에 그림에서 살펴보면 유효전력성분과 무효전력성분이 포함된 전류가 흐르게 됨을 알 수 있다. 여기서 전원 측의 고조파 및 무효전력을 보상하기 위해서 인버터가 부하에서 요구하는 무효전력성분 전류만을 공급하게 된다. 따라서, 전원전류는 부하에서 필요로 하는 유효전력성분의 전류만을 공급하게 되어 정현파의 전류가 흐름을 알 수 있다.

그림 8은 부하운전 스케줄에 따른 전력 흐름을 효율적으로 제어하기 위하여 DSM 기능을 수행하는 파형으로, 위로부터 입력 전압, 입력 전류, 부하 전류, 인버터 전류이다. 그림에서 부하조건은 침두치 부하로 설정하였다. 즉 전원에서 공급을 담당할 수 있는 한계를 넘어서 부하가 전력을 요구하는 상태이다. 인버터에서 공급하는 전류를 살펴보면 그림 6과 달리 무효성분과 유효성분을 포함한 전류가 흐름을

알 수 있는데, 이는 전원과 동기하여 전원이 공급하지 못하는 나머지 유효성분과 고조파 저감을 위한 무효성분도 같이 공급함을 알 수 있다. 따라서 인버터가 power conditioning 기능과 DSM 기능을 동시에 수행할 수 있음을 보여주고 있다.

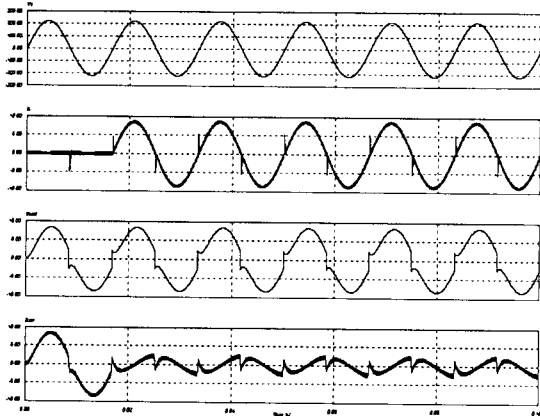


그림 7. power conditioning 제어시 출력파형

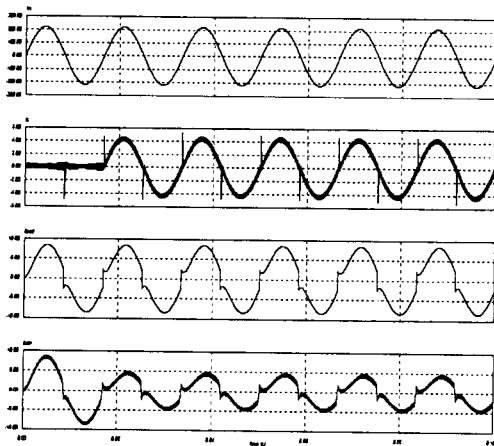


그림 8. DSM 제어시 출력파형

그림 9는 인버터 전류의 주파수 스펙트럼으로 PRT 기법을 사용함으로써 스위칭 주파수가 고정됨을 알 수 있다.

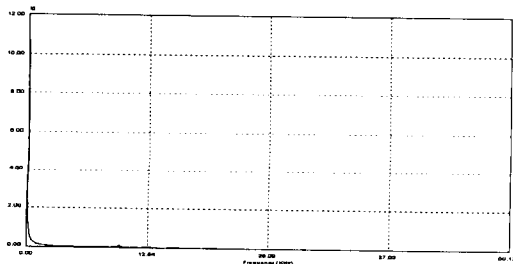


그림 9. 전류 푸리에 변환 스펙트럼

이상과 같이 전류 제어알고리즘을 적용한 계통연계시스템의 시뮬레이션을 통하여 고조파 저감 및 무효 전력 보상 기능을 수행하는 power conditioning 과 부하운전 스케줄에 따른 전력흐름을 제어하는 DSM 기능이 가능함을 확인 할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전 방식을 이용한 계통연계제어시스템의 고조파 저감 및 무효전력 보상기능과 부하운전 스케줄에 따른 전력을 관리할 수 있는 제어 알고리즘에 대하여 제안하였고, PSIM과 Pspice를 이용한 시뮬레이션을 통하여 그 유용성을 입증하였다. 제안된 제어 알고리즘은 power conditioning 기능과 DSM 기능을 동시에 수행할 수 있어 특히, 산간벽지나 낙도 등 독립된 발전 시스템을 필요로 하는 곳에 적합하다고 사료된다.

앞으로 실제 시스템을 제작하여 실험함으로써 제안된 제어 알고리즘을 보완하는 연구를 계속 진행할 예정이다.

이 논문은 2002년도 군산대학교 두뇌한국 21 사업에 의하여 일부 지원되었음

#### 참고문헌

- [1] Lawrence J. Borle and Chem V. Nayar "Ramp-time Current Control" accepted to the IEEE Conference on Power Electronics, 1996, pp.828-834.
- [2] L. J. Borle and C. V. Nayar, "Zero Average Current Error' Controlled Power Flow for AC-DC Power Converters", accepted for publication IEEE Trans. Power Electronics, 1995.
- [3] Seong-Ryong Lee, "A control Strategy of the Three-Phase Bridge-type ZVT inverter for AC Motor Drive," Conf. Rec. of ICPE '98, 1998, pp.529-534.
- [4] 이성룡, 고성훈, 송인석 "유도전동기 구동용 다이오드 브릿지-타입 ZVT 인버터" 전력전자학회 논문지 Vol.4 No.6 P561-569 1999년 12월.
- [5] 이성룡, 고성훈, 김성우 "ZVT 스위칭되는 새로운 전류제어형 인버터" 전력전자학회 논문지 Vol. 7, No2, P129-136 2002 4월.