

계통의 Power Conditioning용 전류제어형 인버터의 구현

이성룡, 고성훈, 김상수
군산대학교 전자정보공학부

Implementation of Current Control Type Inverter for using Power Conditioning of Grid-connective Power System .

S.R. Lee, S.H. Ko, and S.S. Kim

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 analysed 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, experiment results is presented.

1. 서 론

최근 대체에너지 개발은 환경문제 및 화석연료의 고갈로 인해 국내외적으로 그 관심이 집중되고 있다. 또한 대체에너지로서는 산간벽지나 낙도 등의 오지에 전력을 공급하기 위한 수단과 대도시의 순시전력 보상기능으로서 태양광 및 풍력 발전시스템이 주목을 받고 있으며, 이런 대체에너지 시스템을 계통에 연계하기 위해서는 스위칭 기술을 이용한 직류-교류 변환기를 거칠 필요가 있다. 더불어 대체 에너지를 효과적으로 이용하기 위해서는 대체 에

너지 시스템의 출력이 부하의 요구량보다 큰 경우 잉여전력을 계통 쪽으로 회생시키고 부족한 경우는 계통 쪽으로부터 부족분을 공급받는 양방향 조류방식의 계통연계 시스템이 적합하다. 이러한 계통연계 시스템은 크게 UPS(Uninterruptible Power Supply), Power Conditioner 그리고 DSM(Demand Side Management)으로 나누어진다^[1-2].

UPS는 전원 장애시 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 대체에너지 등을 이용한 전원과 연계해서 부하운전 스케줄에 따라 전력을 효율적으로 제어하는데 주로 사용한다. 특히, 독립된 발전설비를 이용하는 수용가에 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 앞서 설명한 UPS, Power Conditioner, DSM등의 시스템을 부하에 따라 효율적으로 제어할 수 있어야 하는데 그러기 위해서는 양방향 전류 제어형 인버터를 어떻게 제어 하나에 따라 UPS, Power Conditioner, DSM의 기능을 복합적으로 수행할 수 있게 된다.^[3]

그러나 이러한 알고리즘은 부하조건 및 전원상태에 따라 수시로 제어방법이 달라져야 하기 때문에 아날로그 제어회로 구성의 어려움을 가지고 있으며 아날로그 제어회로로 구성할 경우 시스템의 대부분이 하드웨어적으로 구성되어 설계의 수정이나 개선이 용이하지 않은 단점을 가지고 있다.

디지털 제어기는 비선형 시스템을 포함한 광범위한 시스템에 복잡한 현대 제어이론을 쉽게 적용할 수 있고, 환경변화에 거의 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있으며 마이크로프로세서의 처리속도가 빨라지고 각종 센서의 분해능 및 A/D변환기와

D/A변환기의 성능 및 제어기술이 발달됨으로써 대부분의 제어 방식이 아날로그 제어방식에서 디지털 제어 방식으로 전환하는 추세이다.

그러므로 본 논문에서는 계통연계 시스템의 UPS, DSM, Power Conditioner 알고리즘을 해석하고 이를 분석하여 PSIM과 Pspice를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 실험하고 그 유용성을 확인하였다.

2. 계통연계형 시스템

계통연계형 인버터의 전류제어 원리를 해석하기 위하여 등가모델을 그리면 그림 2.1과 같다.

그림 2.1에서 부하에 공급되는 전류 i_L 은 식 (2.1)과 같이 표현될 것이다. 또한 링크 인덕턴스 X_S 이 작다면 전원 전압 v_S 와 인버터전압 v_{INV} 가 같다고 가정할 수 있다.

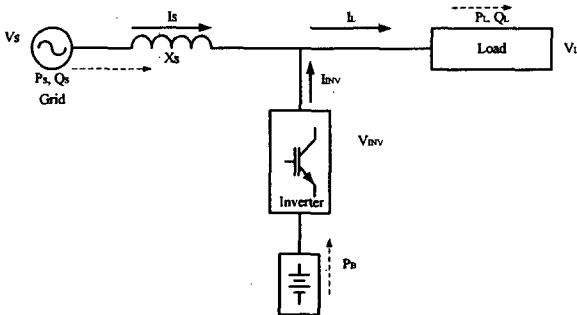


그림 1 계통연계형 인버터의 등가회로

계통연계형 인버터가 Power Conditioner로서 동작하기 위해서는 전원의 전류가 부하의 유효전류 성분만을 공급한다면 인버터는 부하의 무효전류 성분만을 공급하게 되며 전원전류 i_S^* 은 식 (2.1)과 같이 구할 수 있다.

$$i_S^* = \sqrt{2} \frac{P_L}{V_{Srms}} \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

또한 이로서 인버터가 공급해야 할 부하의 무효전류 성분은 식(2.2)와 같이 구할 수 있다.

$$i_{INV} = i_L - i_S^* \quad (2.2)$$

즉 인버터 측의 무효전력성분을 제어함으로써 부하변동에 대응하는 계통전력의 제어가 가능하다. 또한 DSM은 침투 부하일 경우 유효전류 성분까지 인버터가 공급함으로써 가능하다. 만일 인버터 입력단에 태양광, 풍력발전 등의 대체 에너지원이

있다면 발전되는 전력이 부하에 공급된다면 인버터는 부하의 유효전력과 무효전력을 동시에 공급하며 이는 전원의 전력을 감소시키는 분산전원 시스템으로서의 역할과 DSM의 기능을 수행할 수 있게 된다.

3. 회로 구성 및 제어

본 논문에서는 전류제어형 인버터로 PRT전류제어 알고리즘을 사용하였다. PRT전류제어 알고리즘은 현재의 스위칭 시퀀스로 다음 주기의 스위칭을 결정하는 방식으로 히스테리시스 전류제어 알고리즘의 장점을 가지면서 주파수 가변이라는 단점을 보완한 알고리즘이다. [3]

그림 3.1은 단상 계통연계 시스템의 전체 구성도를 나타내며 이는 분산전원 시스템 및 인버터 그리고 제어회로로 나눌 수 있다. 또한 DSM기능을 수행할 경우 분산전원을 사용하기 때문에 계통과 인버터는 변압기로 분리되어 있다.

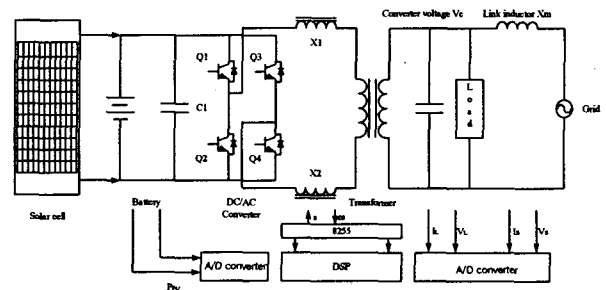


그림 3.1 단상 계통연계형 시스템의 전체 구성도

3.1 회로 구성

인버터부는 PRT전류제어형 인버터를 사용하기 위한 풀 브릿지 타입의 인버터로 스위칭 소자는 IGBT를 사용하였다. 또한 변압기는 인버터의 전력을 계통 또는 부하에 연결시켜주며 2:1의 권수비로 설계하였으며 이는 분산전원시스템으로서 태양광 발전 시스템을 대상으로 하였기 때문에 태양전지와 배터리의 직렬 연결수의 제한을 위해서이다. 또한 인버터는 양방향 조류 방식으로 동작해야 하기 때문에 스위칭 소자는 IGBT를 사용하였다. 또한 본 논문은 Power Conditioner 기능을 갖는 인버터의 구성으로서 전력을 측정하는데 그 주안점이 있고 이를 위해 전압 및 전류센서를 사용하였다. 전압 및 전류 센서는 LEM의 LV25P와 LA25P를 각각 사용하였으며 이는 각각 1:2.5 및 1000:1의 권수비로서 전압은 250V MAX를 측정 5V 출력을 전류는 25A MAX를 측정 5V의 출력을 얻을 수 있으며 이는 각각 A/D 변환기를 통해 DSP에 전달된다.

3.2 시스템 제어기

마이크로프로세서부는 전체 시스템의 두뇌에 해당하는 부분으로 각 부의 전압 및 전류를 센싱하고 이를 연산하여 PRT전류제어형 인버터의 스위칭 신호를 출력한다.

본 논문에서는 마이크로프로세서부 TI사의 저가형 DSP인 TMS320C31 DSP(digital signal Processor)를 사용하였다. TMS320C31은 고성능 32비트 부동소수점 방식의 범용 Programmable DSP로서 40MHz의 동작 클럭을 가지고 있다.

인터페이스부는 마이크로프로세서와 전력변환부 사이에 동작지령이나 검출신호 등을 상호 전달하고, 제어기 외부에 상태를 표시하거나 외부에서 제어기 각종 지시를 내릴 수 있는 입출력 기능을 수행하는 부분으로 매우 복잡한 디지털 및 아날로그 회로로 구성된다. 이는 EPLD나 입출력 칩인 8255 또는 A/D변환기 및 D/A변환기로 구성되어 있다. 또한 A/D변환기 및 D/A변환기는 12비트로서 32비트의 DSP와 데이터 형태를 맞춰주는 일은 전력 측정 및 연산에서 중요한 요인으로 작용한다.

그림 3.2는 본 논문에서 사용한 PRT 전류제어 인버터의 프로그램 순서도를 보여주고 있다. 즉 예러시그널 Es를 8255를 통해 받아 이를 다시 S에 따라 두 가지 동작형태로 구분하고 각 상태에 따라 수행하여 다음 스위칭 시퀀스를 결정하는 것이다.

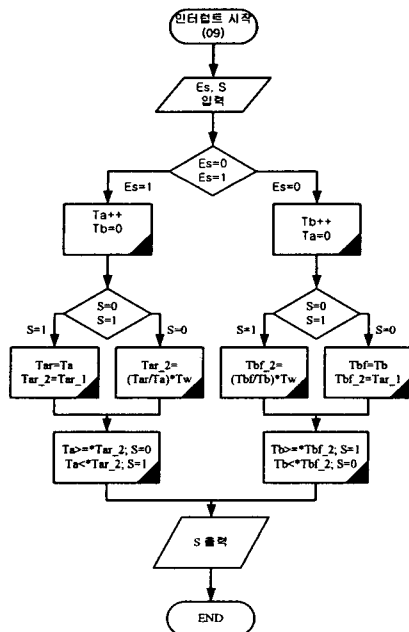


그림 3.2 PRT전류제어 인버터의 프로그램 순서도

앞에서 살펴본 계통연계 시스템의 프로그램 순서도는 그림 3.3에 보였다.

우선 계통과 동기를 맞추기 위해 계통전압의 0점을 체크하게 된다. 즉 각각의 rms 값과 유효전력값

은 계통의 0점을 검출후 한 주기에 걸쳐 연산되며 각각의 연산을 걸쳐 PRT전류제어 알고리즘의 기준 신호로 사용된다. 또한 각각의 PRT제어루프와 계통연계 시스템의 제어루프는 타이머 인터럽트로 일정한 주기를 가지고 수행하게 된다.

PRT 전류제어 알고리즘 루틴은 10kHz의 스위칭 주파수를 연산하기 위해 10μs연산 주기를 가지고 있으며 계통연계 시스템의 알고리즘은 92.6μs의 주기로 실행되며 이는 A/D컨버터의 A/D변환 시간과 연산시간을 고려하고 전력을 측정하기 위해 60Hz 한 주기를 180번의 샘플링 하기 위한 시간이다.

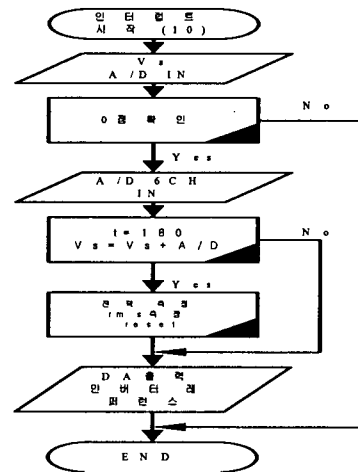


그림 3.3 계통연계 시스템의 프로그램 순서도

4. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제안한 계통연계제어시스템의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였고 조건은 표 1과 같다. 여기서 인버터의 DC전압은 항상 일정하다고 가정하였다.

표 1 시뮬레이션 조건

Parameter	Value	Parameter	Value
Vm	220V	fi	60Hz
Vc	155V	Lm	1mH
im	4A	Cc	1000uF
fsw	10kHz	Lc	5mH

먼저 제안된 제어 알고리즘의 계통 안정화 및 고조파 저감 및 무효전력 보상기능에 적합한지 확인하기 위하여 R-L부하 일 경우 Power Conditioning 과 DSM을 PSIM으로 시뮬레이션 하였다. PSIM은 내부에 C언어로 코딩이 가능한 DLL파일을 사용할 수 있으며 이는 마이크로프로세서의 프로그램을 적용할 수 있고 실제 마이크로프로세서로 구성된 회로와 비슷한 동작 특성을 보인다.

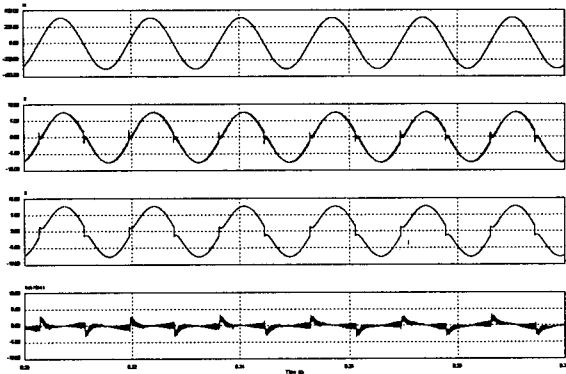


그림 4.1 Power Conditioning 제어 출력 파형

그림 4.1은 고조파 저감 및 무효전력 보상 기능의 Power Conditioning을 수행한 파형으로, 위로부터 입력전압 v_s , 입력전류 i_s , 부하전류 i_L , 인버터 전류 i_{INV} 를 나타내고 있다. 부하의 전류는 $R-L$ 부하이기 때문에 그림에서 살펴보면 유효전력 성분과 무효전력 성분이 포함된 전류가 흐르게 됨을 알 수 있다. 여기서 전원 측의 고조파 및 무효전력 성분을 보상하기 위해서 인버터가 부하에서 요구하는 무효전력 성분 전류만을 공급하게 된다 따라서, 전원전류는 부하에서 필요로 하는 유효전력 성분의 전류만을 공급하게 되어 정현파의 전류가 흐름을 알 수 있다.

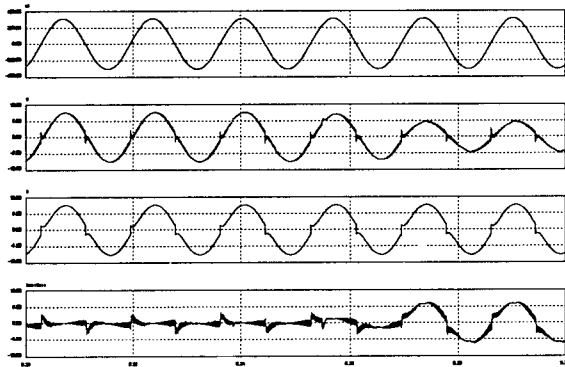


그림 4.2 DSM 제어 출력 파형

그림 4.2는 부하운전 스케줄에 따른 전력 흐름을 효율적으로 제어하기 위하여 DSM 기능을 수행하는 파형으로, 위로부터 입력 전압, 입력 전류, 부하전류, 인버터 전류이다. DSM 제어시 입력 전류가 상당히 작아짐을 볼 수 있다. 또한 인버터 전류를 보면 Power Conditioning 기능을 수행 할 때와는 달리 부하전류의 유효전류 성분까지 공급함을 알 수 있다.

그림 4.3은 Power Conditioning 제어시의 실험 파형으로, 위에서부터 입력전류, 부하전류, 인버터 전류이다.

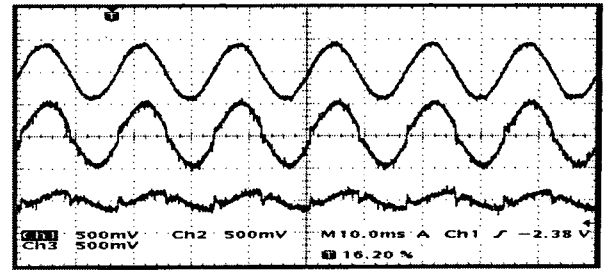


그림 4.3 Power Conditioning 실험 파형

이상과 같이 전류제어 알고리즘을 적용한 계통연계시스템의 시뮬레이션 및 실험을 통해 고조파 저감 및 무효 전력 보상 기능을 수행하는 Power conditioning 및 DSM 기능이 가능함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 대체에너지를 이용한 계통연계형 시스템에서 고조파 저감 및 무효전력 보상 기능을 갖는 Power Conditioning 제어 알고리즘과 부하운전 스케줄에 따라 전력을 효율적으로 관리할 수 있는 DSM 제어 알고리즘에 대하여 제안하였다. 제안된 제어 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 PSIM과 Pspice를 이용한 시뮬레이션을 수행하였으며, 1[kW]급 태양광 발전방식을 이용한 계통연계형 시스템을 제작하여 실험하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 제안된 시스템은 무효전력을 보상하는 Power conditioning 역할을 수행하므로 상용전원의 고조파 저감 및 역률을 개선시켜 계통의 전원품질을 향상시켰다.
2. 제안된 시스템은 부하조건에 따라 무효전력 성분뿐만 아니라 유효전력 성분까지 공급이 가능하여 전력을 효율적으로 관리할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] L. J. Borle and C. V. Nayar, "Zero Average Current Error" Controlled Power Flow for AC-DC Power Electronics, Nov 1995.
- [2] D. M. Baker, V. G. Agelidis and C. V. Nayar, "A NEW Zero Average Current Error Control Algorithm for Inverter". Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC) 1997 with Institution of Engineers Australia Electronic Energy Conference (EECON) 1997, vol. 1, PP67-72
- [3] 이성룡, 고성훈, 김성우 "ZVT 스위칭되는 새로운 전류제어형 인버터" 전력전자학회 논문지 Vol7 No2 P129-136 2002 4월