

계통의 품질개선을 위한 전류제어형 인버터의 구현

이성룡, 전철환, 고성훈, 신영찬
 군산대학교 전자정보공학부

An Implementation of a Current Controlled Inverter for Improved quality of the Grid

S.S. Lee, C.H. Jeon, S.S. Ko and Y.C. Shin

School of Electronic and Information Engineering, Kunsan National University

ABSTRACT

Increasing of the 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 the current controlled type.

In this paper, we propose the power conditioner using photovoltaic system, which is operated by the PRT(Polarized Ramp Time) current control algorithm. The proposed system could also achieve Demand Side Management's function and Uninterruptible Power Supply's function simultaneously. To verify the proposed current controlled inverter for improved quality of the grid, the detail simulation and experiment results indicate that operation PCS, DSM and UPS can be achieved

1. 서 론

계통 연계형 시스템은 대체에너지와 관련하여 안정적인 전력공급 및 전력품질 향상을 위한 시스템으로 역할에 따라 크게 무효전력 보상기(PCS), 무정전 전원공급 장치(UPS), 수요관리(Demand Side Management)시스템으로 구분할 수

있다. 무효전력 보상기는 계통에 작용하는 전기적인 간섭과 주파수 변동 등을 억제하고 고조파를 감소시킴으로써 전원의 품질을 향상시켜 민감한 전자기기를 보호하고 역률을 개선시켜 전력수급의 향상에 도움을 준다. 무정전 전원공급장치는 전원의 고장발생시 부하에 즉시 전력을 공급하는 장치로써 전원의 신뢰성을 보장해 준다. 수요관리 시스템은 효율적인 전력 사용을 위한 것으로 시간과 기후에 따른 전력수요를 감지하여 계통의 편차를 제거하는 기능을 수행한다. 즉, 부하운전 스케줄에 따라 대체 에너지를 이용하여 전원의 전력공급을 분담하거나 잉여전력을 배터리에 저장하여 전력 사용의 효율을 높이는 데 주로 사용한다^[1-2].

이러한 기능들은 전력 품질 및 신뢰성 있는 전력공급을 위해 매우 중요하다. 하지만 아직까지는 계통 연계형 시스템의 사용이 정착 되지 못한 결과로 각각의 기능들이 독립적으로 사용되거나 따로 제품으로 생산되어 가격의 상승 및 시스템의 대형화의 문제점이 제기되고 있다. 특히, 각 기능들을 보다 효율적으로 사용하기 위해서는 대체 에너지와 부하 조건에 따라 각 기능들을 통합하여 사용할 수 있는 시스템 구축 및 제어 알고리즘이 필요하다.

그러므로, 본 논문에서는 태양광 발전을 이용하여 전력 품질의 향상 및 안정적인 전력 공급을 위해 필요한 각 기능들을 통합한 계통연계 시스템용 무효전력보상 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 시스템은 전원과 부하에 양방향 인버터를 병렬로 연결한 형태로 부하의 소비전력을 측정하여 무효전력 및 부하조건을 확인하여 양방향 인버터의 전류의 방향 및 크기를 제어함으로써 무효전력 보상 및 UPS 기능 그리고 효율적인 전력 관리 기능을 수행할 수 있다.

이러한 계통 연계형 시스템은 부하조건 및 계통의 상태에 따라 수시로 제어방법을 달리해야 하기

때문에 아날로그 제어회로만으로 구성하기에는 어려움이 따른다. 즉, 아날로그 회로만으로 구성할 시에는 계통 연계형 시스템에서 필요한 각각의 기능들을 따로 하드웨어적으로 구성함으로써 시스템이 대형화되고 가격이 비싸진다. 또한, 계통 연계형 시스템의 특성상 지역 및 기후에 따라 수정이 필요한데 아날로그 회로는 유지보수가 까다롭다는 단점이 있다. 이에 반해 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/D 변환기와 D/A변환기의 성능 및 제어기술이 발달됨으로써 대부분의 제어 방식이 아날로그 제어방식에서 디지털제어 방식으로 전환하는 추세이다.

따라서, 본 연구에서는 계통 연계 시스템에서 필요한 3가지 기능을 통합하여 사용할 수 있는 계통 제어 알고리즘을 제안하였고, 시스템 하드웨어 구축을 위한 적정설계방법에 대하여 논의하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 DSP를 이용하여 1[kW]급 시제품을 제작하여 실험하였다. 시뮬레이션과 실험을 통하여 무효전력 보상기능과 UPS 기능 그리고 수요관리기능을 통합적으로 제어할 수 있음을 보임으로써 제안된 시스템의 유용성을 입증하였다.

2. 회로 구성 및 제어

그림 1은 본 연구에서 제안한 계통의 품질 개선을 위한 전류 제어형 인버터 시스템의 전체 블록도이다. 인버터 시스템은 계통과 부하 사이에 변압기를 통해 병렬 연결된 형태로 인버터 DC 입력 전원에 따라 변압기는 제거 가능하다.

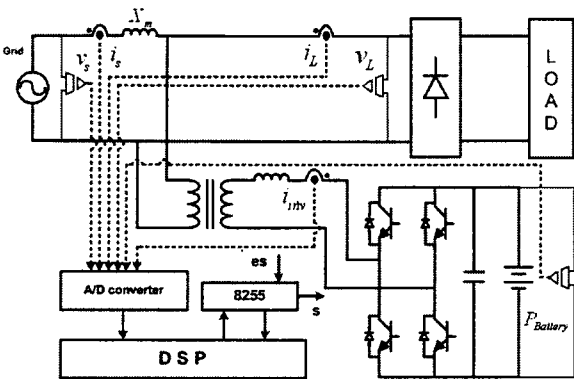


그림 1 제안된 시스템의 전체 구성도
Fig. 1 Block diagram of the proposed system

시스템의 구성은 크게 대체에너지를 이용한 분산

전원 시스템 및 전류제어형 인버터 시스템 그리고 계통 전력과 부하조건에 따라 계통 연계 제어알고리즘을 구현하는 제어부로 구성된다.

2.1 회로 구성

인버터 시스템은 계통 연계형 시스템 특성상 풀-브릿지 타입의 전압원 인버터를 사용하고 스위칭 제어 알고리즘은 PRT 전류제어형 알고리즘을 사용한다. PRT 전류 제어 알고리즘은 현재의 스위칭 시퀀스로 다음 주기의 스위칭 시퀀스를 결정하는 방식으로 히스테리시스 전류제어 알고리즘의 속응성 및 강인성 등의 장점을 가지면서 가변 스위칭 주파수문제의 단점을 보완한 전류제어 알고리즘이다^[3]. 인버터 시스템은 계통과 변압기를 통해 병렬로 연결하는데 이는 인버터 입력전원을 대체에너지를 이용한 분산전원시스템을 채택했기 때문이다. 여기서, 배터리의 전압을 직렬 연결하여 계통 전압과 인버터 출력전압을 같게 하면 변압기는 제거가 가능하다. 본 연구의 목표인 계통 연계 제어를 하기 위해서는 계통 전력과 부하 조건을 실시간으로 계측하여 연산해야 한다. 이를 위해 계통 전압 및 전류, 부하 전압 및 전류 그리고 인버터 출력 전압 및 전류를 측정하기 위하여 LEM사의 LV25P와 LA25P를 사용하였다. 권수비를 조정하여 전압은 250[V] 일때 5[V] 출력을 전류는 25[A] 일때 5[V] 출력을 얻을 수 있도록 하여 A/D 변환기를 통해 DSP에 전달된다. 또한, DSM 및 UPS 기능을 하기 위하여 배터리의 전력을 측정한다.

2.2 계통 연계 제어 알고리즘

본 논문에서는 시스템 제어기로 TI사의 범용 DSP인 TMS320C31을 사용하였다. TMS320C31은 고성능 32비트 부동소수점 방식의 연산이 가능한 DSP로 40[MHz]의 동작 클럭을 가지고 있다. 제어기의 입력은 전압 및 전류인 경우 A/D 컨버터를 에러 신호 E_s 및 기타 디지털 신호는 8255를 통해 DSP에 전달되고 인버터 출력 지령치(i_{inv}^*) 및 부하 조건 등의 제어변수는 D/A 컨버터를 통해 출력하여 전체 시스템의 모니터링이 가능하게 한다. 제어 알고리즘은 크게 두가지로 계통 전력 및 부하조건을 측정하여 계통의 품질을 향상시키기 위한 계통 연계 제어 알고리즘과 인버터 출력 지령치를 가지고 실제 인버터를 구동하는 PRT 전류제어 알고리즘으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 계통 연계 제어 알고리즘에 대하여 상세히 설명한다. 그림 2는 본 연구에서 제안한 계통 연계 제어 알고리즘의 프로그램 순서도이다.

계통 연계 제어 알고리즘은 66[us]의 주기로 실행되며 이는 A/D 컨버터의 A/D 변환 시간과 연산

시간을 고려하고 계통 전원의 60[Hz]의 한주기를 250번 이상 샘플링하기 위한 시간이다. 프로그램이 시작되면 계통의 위상을 검출하여 계통과 동기를 맞추고 계통 전력 및 부하조건 그리고 배터리의 전력을 측정한다. 여기서 계통의 고장 유무를 측정하여 고장 발생시에는 인버터 단독운전으로 부하에 전력을 공급하는 UPS 기능을 수행한다. 부하조건을 측정하여 유효전력 성분과 무효전력성분을 나눈다. 계통의 전원을 역률 1로 제어하기 위해서는 계통 전원은 유효전력 성분만을 공급하고 무효전력 성분은 인버터에서 공급해야 한다. 또한, 배터리의 전력을 측정하여 부하 소비전력의 30[%] 이상일 경우 계통과 분담하여 전력을 공급하는 DSM 모드를 수행하게 된다. 따라서, 인버터 출력 지령치(i_{INV}^*)는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$i_{INV}^* = i_L - i_S^* \quad (1)$$

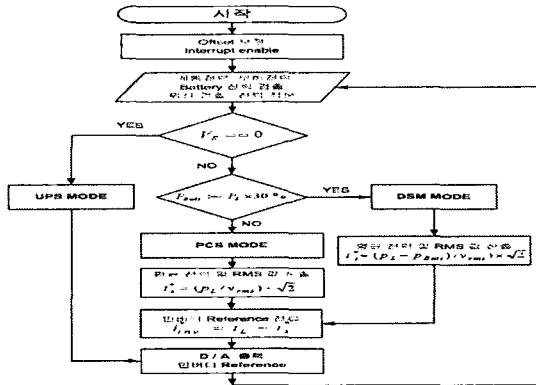


그림 2 계통 연계 제어 알고리즘 순서도
Fig. 2 Flowchart of grid-connective control algorithm

인버터 출력 지령치(i_{INV}^*)는 D/A 변환기를 통해서 PRT 전류제어 알고리즘을 담당하는 DSP로 전달되어 인버터 출력 전류와 지령치의 오차 신호를 검출하여 인버터의 스위칭 시퀀스를 생성한다.

3. 시뮬레이션 및 실험

본 연구에서 제안한 계통의 품질 개선을 위한 전류제어형 인버터 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 1[kW]급 시작품을 제작 실험하였다. 시뮬레이션 및 실험 조건은 표 1과 같고 인버터의 DC 입력 전압은 12[V]4[AH]를 직렬 연결하여 사용하였다.

먼저 제안된 계통 연계 제어 알고리즘의 계통 안정화 및 품질개선에 적합한지 확인하기 위하여 R-L 부하를 이용하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. PSIM 프로그램은 C언어로 코딩이 가능한 DLL 파일을 사용할 수 있어 실제 DSP

로 구성된 회로와 비슷한 동작특성을 보인다. 그림 3은 비제어시의 계통 전압 및 전류, 부하전류 그리고 인버터 출력 전류를 나타내고 있다. 그림에서처럼 부하의 영향으로 전원전류에 무효전력성분이 포함되어 있음을 알 수 있다.

표 1 시뮬레이션 및 실험 조건

Table 1 The condition of simulation and experiment

Parameter	Value	Parameter	Value
Vs	220Vrms	V _{idc}	155Vdc
f _i	60Hz	fsw	10kHz
R _L	40 Ω	Lm	6.6mH
L _L	34mH	Ci	1000uF

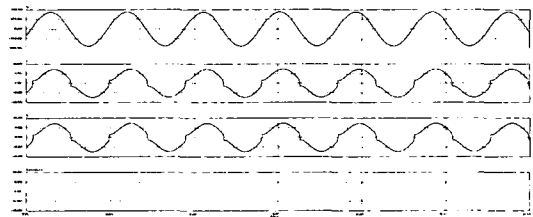


그림 3 비제어시 출력 파형
Fig. 3 Output waveforms of not control

그림 4는 제안된 시스템이 무효전력보상 기능을 수행하는 파형으로 부하의 무효전력 성분은 인버터가 공급하고 계통은 유효전력성분만을 공급하여 계통 전류가 정현파임을 알 수 있다.

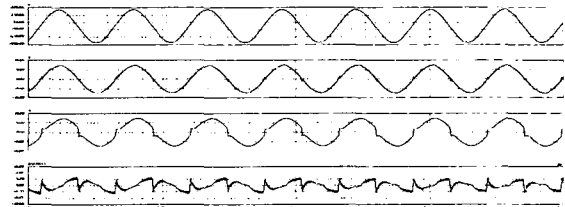


그림 4 무효전력 보상 제어 출력 파형
Fig. 4 Output waveforms of PCS control

그림 5는 제안된 시스템이 DSM 기능을 수행하는 파형으로 무효전력 보상뿐만 아니라 배터리에 저장된 에너지를 부하에 공급하고 있음을 알 수 있다. 여기서, 계통은 부하소비전력의 60[%]를 공급하고 인버터는 무효전력 보상 및 40[%]의 유효전력을 공급한다.

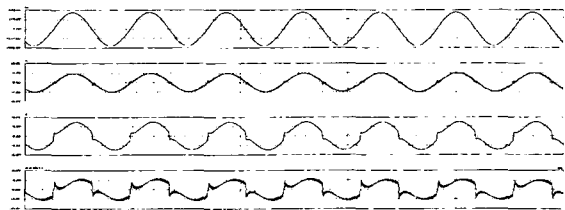


그림 5 DSM 제어 출력파형
Fig. 5 Output waveforms of DSM control

그림 6은 제안된 시스템이 UPS 기능을 수행하는 파형으로 계통전원 고장시 배터리에 저장된 에너지를 즉시 부하에 공급하고 있음을 알 수 있다.

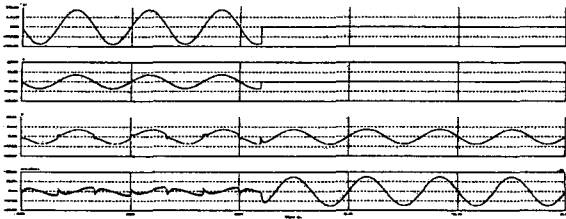


그림 6 UPS 제어 출력파형
Fig. 6 Output waveforms of UPS control

이상과 같이 시뮬레이션을 통해 검증된 제어 알고리즘을 실제 시제품을 제작하여 실험하였다. 그림 7, 8, 9는 시뮬레이션과 동일한 조건으로 실험한 파형으로 Tektronix사의 디지털스코프 TDS3054B로 측정하였다. 위에서부터 순서대로 계통 전압 및 전류, 부하 전류 그리고 인버터 출력 전류 파형이다

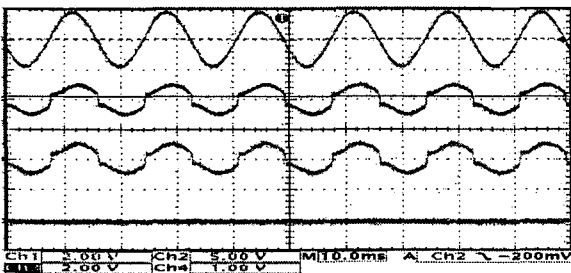


그림 7 비제어시 출력 파형
Fig. 7 Output waveforms of not control

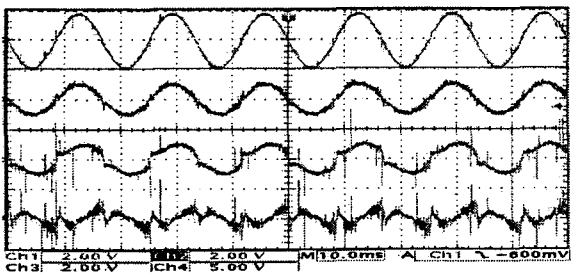


그림 8 무효전력 보상 제어 출력 파형
Fig. 8 Output waveforms of PCS control

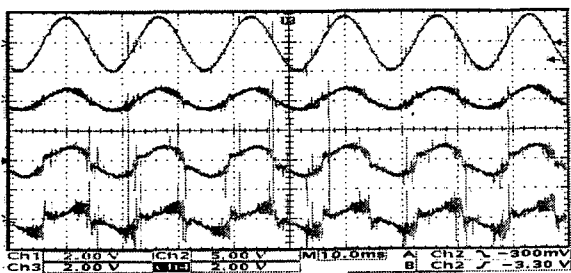


그림 9 DSM 제어 출력파형
Fig. 9 Output waveforms of DSM control

이상과 같은 시뮬레이션 및 실험결과를 통해 계통 연계 제어 알고리즘이 계통 전력 및 부하조건에 따라 무효전력 보상 기능 및 수요관리 기능 그리고 무정전 전원장치 기능을 수행할 수 있음을 알 수 있었으며, Voltech사의 파워 어날라이저 PM3000을 이용하여 역률을 측정된 결과 0.99 이상임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 계통의 품질 개선을 위해 필요한 무효전력 보상 기능 및 수요관리 기능 그리고 무정전 전원 공급 기능 등을 하나의 시스템에서 통합하여 제어할 수 있는 계통 연계 제어 알고리즘을 제안하였고, 제안된 알고리즘을 구현하기 위한 PRT 전류제어형 인버터 시스템의 설계방법에 대하여 논의하였다. 또한, PSIM을 사용하여 제안된 계통 연계 제어알고리즘의 유용성을 확인하였으며 DSP를 이용하여 1[kW]급 시제품을 제작하여 실험하였다. 제안된 시스템은 무효전력 보상 기능을 수행하여 역률을 0.99이상으로 개선시켰으며 배터리의 에너지를 이용하여 부하분담 및 계통 고장시 즉시 부하에 전력을 공급함으로써 전력 유동성 부분을 개선시켰으며 전원의 신뢰성을 향상시켰다.

이상의 결과로 본 연구에서 제안한 시스템은 기존의 계통 연계형 시스템의 단점인 3가지 구성요소들의 독립된 사용을 하나의 시스템으로 통합함으로써 소형경량화 및 제어의 용이성의 장점을 가지고 있어 산간 벽지나 낙도 등의 오지의 전력공급도 가능하며 도시지역의 전력 품질 및 순시전력 보상 역할로도 충분 할 거라 사료된다.

이 논문은 군산대학교 "BK21 사업단"의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

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