

Gird-interactive Current Controlled Voltage Source Inverter System with UPS

高 晟 勳[†] · 林 成 勳^{*} · 李 洙 原^{**} · 李 星 龍^{***}

(Sung-Hun Ko · Sung-Hun Lim · Su-won Lee · Seong-Ryong Lee)

Abstract - This paper presents a grid-interactive current controlled voltage source inverter (CCVSI) with uninterruptible power supply (UPS), which uses an inner current control loop (polarized ramp time (PRT)) and outer feedback control loops to improve grid power quality and UPS. To reduce the complexity, cost and number of power conversions, which results in higher efficiency, a single stage CCVSI is used. The operation of this system could be divided into the power quality control (PQC) state mode and the UPS state mode. In PQC mode, the system operated to compensate the reactive power demand by nonlinear load or variation in load. In UPS mode, the system is controlled to provide a sinusoidal voltage at the rated value for the load when the grid fail. To verify the proposed system, a comprehensive evaluation with theoretical analysis, simulation and experimental results for 1KVA load capacity is presented.

Key Words : CCVSI, PQC, UPS, Demand side management

1. 서 론

급격한 산업 및 정보통신의 발전으로 에너지 사용 증가에 따른 환경오염 및 기후변화 문제와 비선형 부하의 대증적 확산으로 인한 계통 전력의 품질 저하 문제는 점차 심각해지고 있다. 특히, 지식정보화 산업에 따른 현대적인 전기전자제품의 보급률 및 사용량이 급증하고 있기 때문에 계통의 고조파 증가에 따른 역률 저하 및 기기의 오동작 등의 문제점들도 따라서 증가하고 있다. 이의 해결방안으로 태양광 및 풍력과 같은 신재생에너지를 이용한 분산전원시스템, 계통의 품질을 향상시킬 수 있는 PCS(Power Conditioning System), 부하의 안정적 전원 공급을 위한 UPS(Uninterruptible Power Supply)와 같은 계통연계형 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다[1]-[6].

- 무효전력 보상: 계통의 고조파 감소 및 역률 개선 (IEEE std-1159 및 한전 배전계통 공급기준에 만족하는 역률 0.9 이상, THD 5% 이내)
- 유효전력 공급: 신재생에너지 및 배터리를 이용하여 첨두 부하 및 부하운전 스케줄에 따른 전력공급을 통한 부하수요관리
- 무정전 전원공급: 계통 고장 발생 시 부하에 정전압 공급

이러한 사항을 만족하기 위해 계통연계형 시스템에 사용되는 인버터는 계통, 분산전원(또는 저장장치), 부하의 조건에 따라 양방향으로 전력 수수가 가능한 양방향 인버터(Bi-directional Inverter)가 필수적이며 이의 특성이 전체 시스템의 성능을 좌우한다. 일반적으로 인버터는 DC 입력단의 전원 형태에 따라 전압원 인버터(VSI: Voltage Source Inverter)와 전류원 인버터(CSI: Current Source Inverter)로 구분할 수 있으며, 분산전원에 사용되어지는 신재생에너지원 및 배터리의 출력이 주로 직류이기 때문에 대부분 전압원 인버터를 사용한다[7]. 또한, 계통연계형에 주로 사용되어지는 전압원 인버터는 출력 전압 및 위상을 제어하는 전압제어형 전압원인버터(VCVSI : Voltage Controlled VSI)와 인버터 출력 전류를 제어하는 전류제어형 전압원 인버터(CCFSI: Current Controlled VSI)로 구분할 수 있다. VCVSI는 계통과 인버터가 디커플링 인덕터로 분리되어 있는 구조로 부하 전압 안정화 성능은 매우 우수하지만 낮은 부하시 역률이 급격하게 저하되고 CCVSI와 비교하여 응답 속도 및 고조파 저감 성능이 떨어진다. CCVSI는 스위칭 순간에 출력전류를 제어할 수 있어 응답속도가 빠르며 인버터 입력 변동에도 지령 전류를 강인하게 추종할 수 있어 역률 향상 및 고조파 저감 성능은 매우 우수하지만 계통의 입력 전압 변동이나 고장 발생 시에 대응할 수 있는 전압 안정화 성능이 좋지 않은 단점이 있다[8]. 따라서 계통의 품질 저하, 전력수요 대응, 지구환경변화 및 에너지 문제등과 같은 계통연계형 시스템에서 요구되는 핵심요구사항을 만족하기 위해 기존의 시스템은 여러 가지 장치들을 조합하여 사용한다[9]. 이로 인해 전체 시스템의 대형화, 비효율성, 가격 상승 등의 문제점이 발생하게 된다.

그러므로 본 논문에서는 계통의 품질향상, 효율적 전력사용, 안정된 전원 공급, 친환경 에너지원 이용 등과 같은 계통연계형 시스템에서 요구되는 기능들을 하나의 시스템에

† 교신저자, 正會員 : 전북대 고급인력 양성사업단 박사후연구원 · 공박

E-mail : merchin@kunsan.ac.kr

* 正會員 : 숭실대 공대 전기공학부 교수 · 공박

** 正會員 : 연세대 TMS 정보기술사업단 연구교수 · 공박

*** 正會員 : 군산대 공대 전자정보공학부 교수 · 공박

接受日字 : 2007年 1月 31日

最終完了 : 2007年 4月 23日

서 모두 만족할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 전압원 인버터 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 추가적인 장치 없이 단상 풀-브릿지 인버터 하나만을 사용하여 전력품질개선 기능, 수요관리 기능, 무정전 전원공급 기능 등을 모두 수행할 수 있도록 통합·운영된다. 시스템의 동작은 전력품질개선(PQC: Power Quality Control) 모드와 무정전 전원공급(UPS) 모드로 구분할 수 있다. PQC 모드에서는 한전배전계통 공급기준과 IEEE 표준규격을 만족하도록 고조파 저감 및 역률 개선 기능을 수행하며, 동시에 배터리(또는 신재생 에너지)에 저장된 에너지로 계통의 전력을 일부 부담하거나 낮은 부하시 계통의 잉여전력을 충전하고 높은 부하시 계통에 전력을 공급하여 첨두부하를 감소시킬 수 있는 부하수요관리(DSM: Demand Side Management) 기능을 수행한다. UPS 모드에서는 계통의 이상유무를 항상 모니터링 하여 고장 발생 시에는 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 부하에 즉시 정전압을 공급한다. PQC 모드에서는 순시전류피드백 제어를 통해 생성된 지령 전류를 잘 추종하도록 PRT(Polarized Ramp time) 전류제어 알고리즘을 사용하며 UPS 모드에서는 캐패시터 피드백을 통한 SVM(Space Vector Modulation) 전압제어 알고리즘을 이용한다. 이 두 가지 제어 알고리즘 중에서 계통과 부하조건에 따라 하나만을 선택하여 사용하기 때문에 DSP 하나만을 사용한다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템은 기존의 시스템과 비교하여 소형경량화, 가격경쟁력 확보, 제어의 용이성, 효율성 등의 장점을 가진다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 부하 조건 및 계통의 상태에 따른 모드별 동작 원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였으며, 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안된 시스템의 유용성을 확인하였다.

2. 시스템 해석 및 제어 알고리즘

계통 연계형 시스템의 주된 기능으로서의 계통의 고조파 감소 및 역률을 개선할 수 있는 전력품질 개선 기능, 계통의 전력수요에 따라 첨두부하와 같은 계통의 편차를 제거하거나 부하운전 스케줄에 따라 배터리에 저장된 에너지(또는 신재생에너지원(RES: Renewable Energy Source))를 이용하여 계통의 전력을 분담하는 수요관리 기능 및 계통의 고장 발생 시에 즉시 부하에 정전압을 공급할 수 있는 UPS 기능 등으로 구분할 수 있는데, 이런 시스템은 각각 독립적으로 연구 개발되고 있어 전체 시스템의 대형화, 가격상승 등의 문제점이 발생된다. 따라서 본 연구에서는 하나의 시스템에서 이런 기능들을 통합 운영할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 전압원 인버터 시스템을 제안하였으며 전체 구성도는 그림 1과 같다.

제안된 시스템은 단상 풀-브릿지 전압원 인버터, DSP기반의 제어기, 센싱 및 인터페이스 모듈로 구성된다. 인버터의 DC 입력은 배터리와 연결되며 태양광, 연료전지와 같은 신재생에너지원과 연계하여 운영할 수 있다. 인버터의 출력은 변압기를 통해 계통과 병렬로 연결된다.

그림 1의 제안된 시스템은 기본적으로 역률 개선 및 고조파 저감 같은 전력품질개선 기능을 수행해야 하기 때문에 계통에 병렬로 연결된 전압원 인버터는 전류제어형으로 동작하며 그림 2의 (a)와 같이 교류전류원으로 해석이 가능하

다. 또한, 계통 고장 발생 시에는 부하에 정전압을 공급해야 하기 때문에 계통에 병렬로 연결된 전압원 인버터는 전압제어형으로 동작해야 하며 이때는 그림 2의 (b)와 같이 정전압원으로 해석할 수 있다.

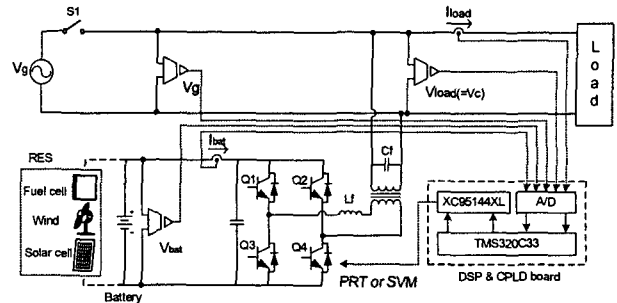


그림 1 제안된 시스템의 전체 구성도
Fig. 1 Illustrated configuration of the proposed system

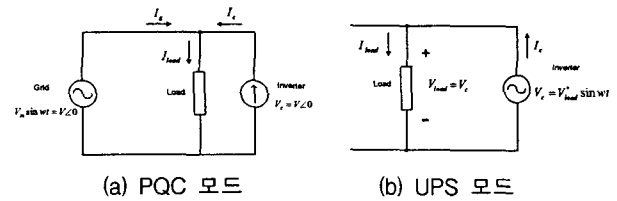


그림 2 제안된 시스템의 모드별 등가회로도
Fig. 2 The equivalent circuit diagram of the proposed system at each operation mode

그림 2와 3은 제안된 시스템의 모드별 등가회로와 동작모드에 따른 벡터도이다. 또한, PQC 모드는 다시 부하에 전력을 공급할 수 있는 그림 4의 (a)의 방전모드와 배터리에 전력을 저장하는 그림 4의 (b)의 충전모드로 구분 할 수 있다.

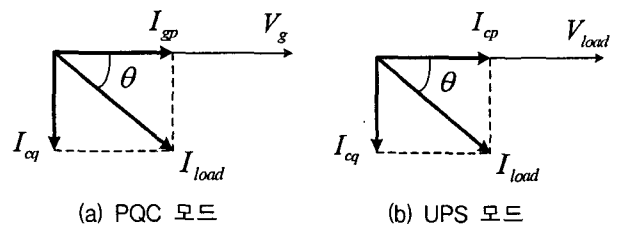


그림 3 제안된 시스템의 동작모드별 벡터도
Fig. 3 Phasor diagram of the proposed system at each operation mode

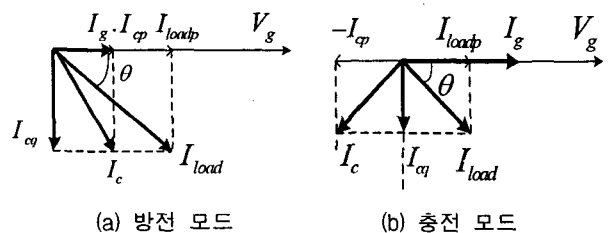


그림 4 PQC 모드시 동작모드별 벡터도
Fig. 4 Phasor diagram of the PQC mode at each operation mode

여기서, I_g 는 계통 전류, I_c 는 인버터 전류, I_{load} 는 부하전류이며, 첨자 p와 q는 유효 및 무효 성분을 나타낸다.

PQC 동작모드에서는 기본적으로 부하 조건(역률 부하 및 비선형 부하)에 따라 무효전력을 보상하거나 고조파를 저감하여 전력품질을 향상시키며 동시에 침투부하시에 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 계통의 편차를 제거하는 부하수요관리 등을 수행한다. 그림 3의 (a)와 같은 PQC 모드에서의 부하전류(I_{load})는 계통 전류(I_g)와 인버터 전류(I_c)의 합으로 표현되며, 단위 역률제어 및 고조파 저감을 위해서는 계통전류는 항상 유효전력성분만이 존재해야 한다. 따라서 요구되는 계통전류(I_g^*)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_g^* = Re[I_{load}] = \frac{P_{load}}{V_g} \quad (1)$$

그러므로 PQC 모드에서 요구되는 인버터의 지령 전류(I_c^*)는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$I_c^* = jIm[I_{load}] = j \frac{Q_{load}}{V_g} \quad (2)$$

여기서, P_{load} 와 Q_{load} 는 부하의 유효전력 및 무효전력을 나타낸다.

또한, 그림 4의 (a)처럼 배터리의 에너지를 계통 또는 부하에 공급하는 방전 모드에서는 인버터가 부하의 유효전력 성분의 일정부분을 부담하게 되며, 그림 4의 (b)의 충전모드에서는 낮은 부하일 때 계통의 유효전력은 부하 및 배터리에 공급할 수 있다. 여기서, 배터리에 저장된 전력을 이용할 때는 계통 고장 발생 시에 부하에 일정기간동안(백업시간) 전력을 공급할 수 있도록 고려해야 하며, 배터리에 전력을 충전할 시에는 부하소비전력이 낮을 경우로 계통의 최대전력요구량을 증가시키지 않도록 고려해야 한다. 제안된 시스템은 이 두 가지 모드에서도 부하의 무효전력 성분은 인버터가 전부 부담하며 인버터 지령전류는 식 (3)과 (4)와 같이 각각 구할 수 있다.

$$I_c^* = (I_{bat} - I_{bat}^*) + jIm[I_{load}] = \frac{(P_{bat} - P_{bat}^*) + jQ_{load}}{V_g} \quad (3)$$

$$I_c^* = Re[(I_{load} - I_{gmax})] + jIm[I_{load}] = \frac{(P_{load} - P_{gmax}) + jQ_{load}}{V_g} \quad (4)$$

여기서, I_{bat} 와 P_{bat} 는 배터리의 전류 및 전력, I_{bat}^* 와 P_{bat}^* 는 백업시간동안 부하에 전력을 공급할 수 있는 배터리의 전류 및 전력이다. I_{gmax} 와 P_{gmax} 는 계통의 최대 전류 및 전력을 나타낸다. 그림 5는 제안된 시스템의 제어 블록도이다.

제안된 시스템의 제어 알고리즘은 부하조건 및 배터리의 상태에 따라 인버터의 지령전류를 생성하는 PQC 알고리즘과 계통 고장 발생 시 부하에 정전압을 공급할 수 있는 인버터의 지령전압을 생성하는 UPS 제어 알고리즘으로 구분할 수 있다. 여기서, 계통 전압을 항상 모니터링하여 (본 연구에서는 46.3us 주기로 측정) 계통의 이상 유무에 따라 PQC 모드와 UPS 모드 하나만을 선택하여 동작하게 된다. PQC 알고리즘은 계통 전압(V_g)의 위상 및 크기, 부하 조건(V_{load} , I_{load}) 및 배터리의 전력(V_{bat} , I_{bat})을 센싱하여, 그 정보를 토대로 부하에서 요구하는 유효 및 무효전력성분을 연산

하고, 배터리의 상태에 따라 식 (1-4)를 이용하여 최종적인 인버터 지령전류(I_{c-ref}^*)를 생성하게 된다. 본 연구에서는 실제 인버터 전류를 생성된 인버터 지령전류에 따라 추종하도록 PWM 스위칭 패턴을 결정하는 스위칭 알고리즘으로 PRT(Polarized Ramp time) 전류제어 알고리즘을 이용하였다. 전류제어 스위칭 알고리즘은 일반적으로 히스테리시스 기법을 주로 사용하는데 이는 하드웨어가 간단하고 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있지만 스위칭 주파수가 가변되는 단점을 갖고 있다. PRT 전류제어 알고리즘은 빠른 응답 특성 및 인버터의 DC 입력전압 변동에도 지령전류를 잘 추종할 수 있는 전류제어의 장점뿐 아니라 가변스위칭 주파수 문제 또한 해결할 수 있다. UPS 모드에서는 부하전압(또는 인버터 전압) 및 전류(I_{load}), 인버터 전류(I_c) 및 배터리의 전압(V_{bat})을 센싱하여, 그 정보를 토대로 d-q축 변환을 통해 전류 및 전압오차를 PI 제어기를 통하여 보상된 값과 크기는 1이고 기본 주파수(60Hz)를 갖는 $\sin\omega t^*$ 를 이용하여 최종적인 인버터 지령전압(V_{c-ref}^*)을 생성하게 된다. 본 연구에서는 실제 인버터 전압을 생성된 인버터 지령전압에 따라 추종하도록 PWM 스위칭 패턴을 결정하는 스위칭 알고리즘으로 SVM(Space Vector Modulation) PWM기법을 이용하였다.

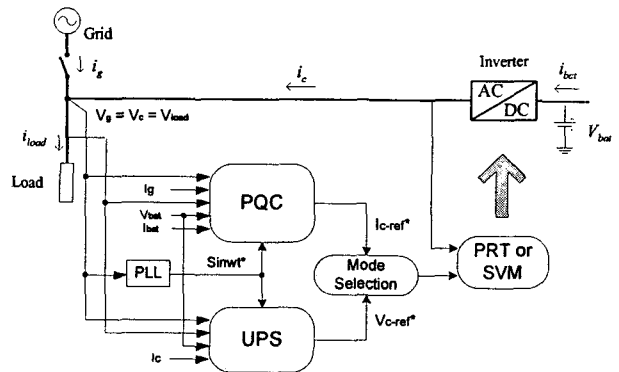


그림 5 제안된 시스템의 제어 블록도
Fig. 5 Control block diagram of proposed system

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 연구에서 제안한 UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 전압원 인버터 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 1(KVA)급 시작품을 제작하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 분석하기 위하여 시뮬레이션 및 실험조건은 동일하게 설정하였으며 표 1과 같다.

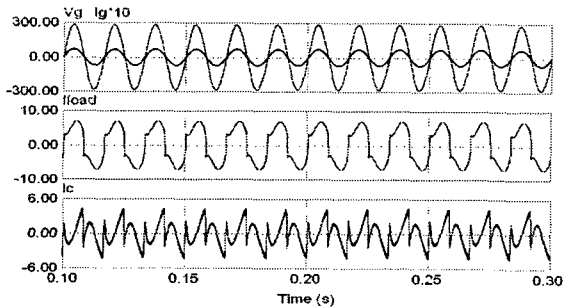
표 1 시뮬레이션 및 실험 조건
Table 1 The condition of the simulation and experiment

Parameters	Values	Parameters	Values
Vac	200Vrms	Vdc	200V
기본 주파수	60Hz	스위칭 주파수	10kHz
필터 인덕터	5mH	필터 캐패시터	10uF
변압기 권선비	1: 2	DC 링크콘덴서	3300uF

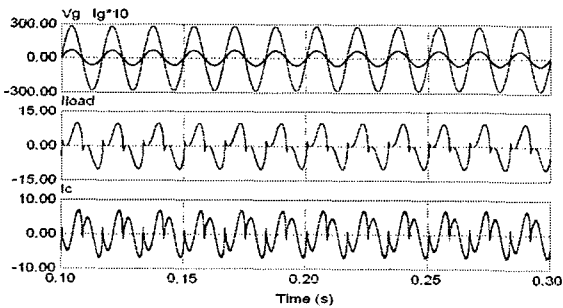
3.1 시뮬레이션 결과

먼저 제안된 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험결과와 비교·분석하기 위하여 C 언어로 코딩이 가능한 DLL 블록을 사용하였다.

그림 6은 비선형 부하 조건일 때의 PQC 모드 동작 시뮬레이션 파형으로, 그림 6의 (a)는 유도성 정류기 부하, (b)는 콘덴서 입력형 정류기 부하로 위로부터 계통 전압 및 전류 (V_g, I_g), 부하전류(I_{load}), 인버터 전류(I_c)이다. 그림 6의 (a)와 (b)의 부하 전류는 왜곡이 많은 비선형 특성을 나타내고 있지만 인버터가 PQC 알고리즘을 통해 고조파 저감 기능을 수행함으로써 계통 전류는 왜곡 없는 정현파임을 알 수 있다. 또한, 계통 전압과 전류는 위상차가 거의 "0"에 근사하며 따라서 제안된 시스템은 단위역률로 운전되고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 유도성 정류기 부하

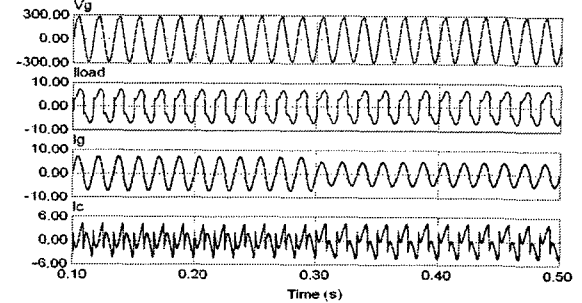


(b) 콘덴서 입력형 정류기 부하

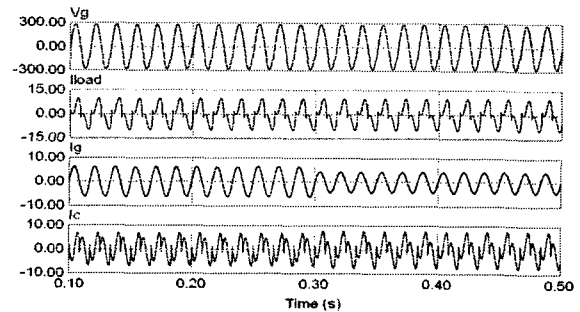
그림 6 PQC 모드 일 때의 시뮬레이션 파형
Fig. 6 Simulation waveforms of the PQC mode

그림 7과 8은 PQC 동작 모드에서 방전 모드와 충전 모드 시의 시뮬레이션 결과 파형으로 고조파 저감 및 역률 향상 기능을 수행하면서 동시에 배터리를 이용하여 계통의 전력을 일부 분담하거나 잉여전력을 저장할 수 있다. 여기서, 배터리의 전력은 계통 고장 발생 시에 일정시간동안(백업시간) 부하에 전력을 공급할 수 있도록 항상 유지 시켜야 한다. 본 연구에서는 임의로 약 30% 범위 내에서 배터리의 전력을 이용하도록 설정하였다. 그림 7은 방전모드 일 때의 시뮬레이션 파형으로 부하조건은 그림 6과 동일하다. 방전 모드에서는 배터리의 전력을 측정하여 충분하다고 판단되면 배터리의 전력을 이용하여 그림 7 (a)와 (b)에서처럼 계통의 전력을 일부 분담하게 된다. 또한, 충전모드에서는 배터리의

잔류용량이 부족하거나 낮은 부하 조건 일 때 계통의 최대 전력량을 증가시키지 않는 범위 안에서 배터리에 충전하게 된다. 그림 8은 충전모드 일 때의 시뮬레이션 파형으로 그림 6과 비교하여 부하조건은 약 60% 정도이다.

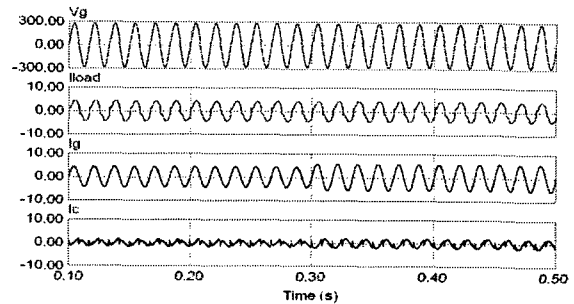


(a) 유도성 정류기 부하

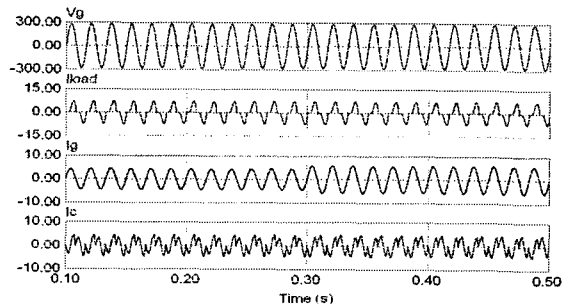


(b) 콘덴서 입력형 정류기 부하

그림 7 PQC 모드 중 방전 모드 일 때의 시뮬레이션 파형
Fig. 7 Simulation waveforms of the PQC mode at discharging mode



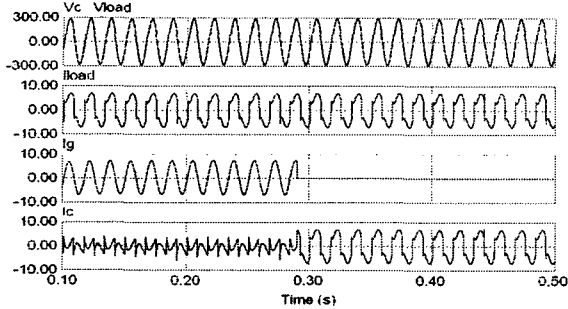
(a) 유도성 정류기 부하



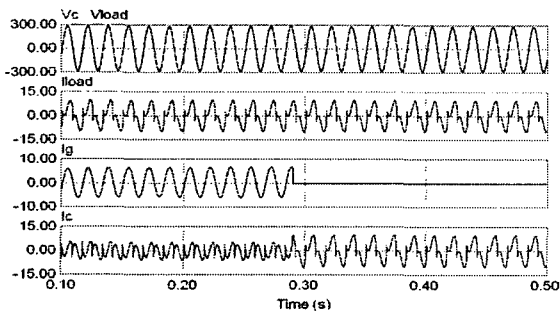
(b) 콘덴서 입력형 정류기 부하

그림 8 PQC 모드 중 충전 모드 일 때의 시뮬레이션 파형
Fig. 8 Simulation waveforms of the PQC mode at charging mode waveforms

그림 9는 제안된 시스템의 UPS 모드 동작과형으로 부하 조건은 그림 6과 동일하며, 위로부터 부하전압(V_{load}) 및 인버터 출력전압(V_c), 부하전류(I_{load}), 계통전류(I_g), 인버터 전류(I_c)이다. 그림 9에서처럼 계통의 이상 유무를 모니터링하여 정상시에는 PQC 모드로 동작하고, 계통 고장 발생 시에는 UPS 모드로 전환되어 부하조건에 관계없이 제안된 시스템이 부하에 요구하는 정전압(200Vrms, 60Hz)을 공급하고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 유도성 정류기 부하



(b) 콘덴서 입력형 정류기 부하

그림 9 UPS 모드 일 때의 시뮬레이션 파형
Fig. 9 Simulation waveforms of the UPS mode

이상과 같은 시뮬레이션 결과를 종합하면 제안된 시스템은 비선형 부하를 포함한 모든 부하조건에서 단위역률제어 및 고조파 저감 성능이 우수하며, 동시에 배터리를 이용하여 (30[%] 범위 안에서) 계통 및 부하조건에 따라 첨두부하 시 계통의 전력을 일부 분담하고 낮은 부하 시 계통의 잉여전력을 충전함으로써 효율적인 전력사용이 가능하다. 또한, 계통의 이상유무를 항상 모니터링 하여 고장 발생 시에도 부하에 일정시간동안(백업시간) 정전압을 공급할 수 있음을 확인하였다.

3.2 실험 결과

3.1절의 시뮬레이션 결과를 통해 검증된 시스템을 실제 1(KVA)급 시작품을 제작하여 실험하였다. 인버터에 사용되는 스위칭 소자는 IGBT를 사용하였고, 전압 및 전류센서는 LEM사의 LV25P와 LA25P를 이용하였다. 전체 시스템의 제어기로 TI사의 DSP 320C33을 이용하였으며, 스위칭 제어알고리즘(PRT and SVM)은 xillings사의 CPLD로 구성하였다. 계통의 전력 및 역률을 측정하기 위해 전력분석 장비인 Voltech사의 PM3000A를 사용하였으며 Textronix사의 디지털 오실로스코프 TDS3054B를 이용하여 시스템의 전압 및 전류 파형을 측정 하였다.

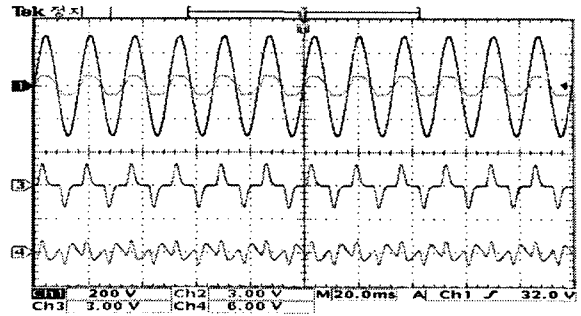


그림 10 PQC 모드 일 때의 실험 파형
Fig. 10 Experimental waveforms of the PQC mode

그림 10은 제안된 시스템의 PQC 동작 모드 실험파형으로 부하 조건은 그림 6의 (b)와 같은 콘덴서 입력형 정류기 부하이며, 위로부터 계통 전압 및 전류, 부하전류, 인버터 전류이다. 그림 10에서처럼 부하 전류는 전형적인 비선형 특성을 보여주고 있지만 인버터 전류가 고조파를 보상함으로써 계통 전류는 정현파에 근사함을 확인할 수 있다. 여기서, 전류 실험 파형은 전류센서의 출력을 측정하였으며 스코프 상 전압 대 전류 비율은 약 1:7 정도이며, 인버터는 변압기 권수비(1:2)에 따라 계통과 부하전류에 비해 2배의 크기이다.

그림 11과 12는 제안된 시스템의 PQC 동작 모드 중 방전 모드와 충전 모드의 실험파형으로 위로부터 계통전압 및 전류, 부하전류, 인버터 전류이다.

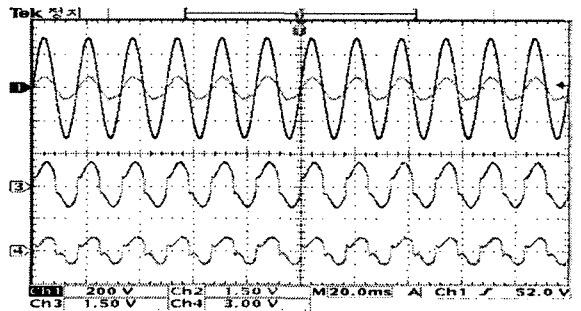


그림 11 PQC 모드 중 방전 모드 일 때의 실험 파형
Fig. 11 Experimental waveforms of the PQC mode at discharging mode

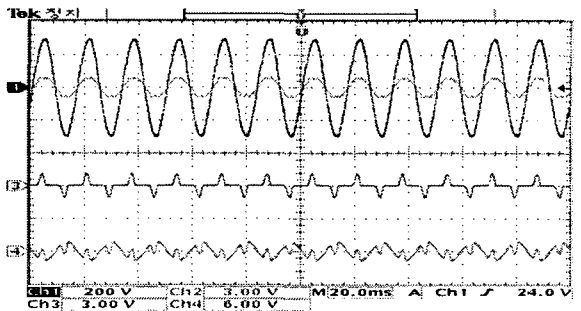
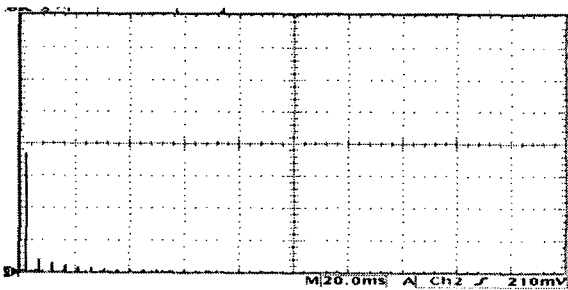
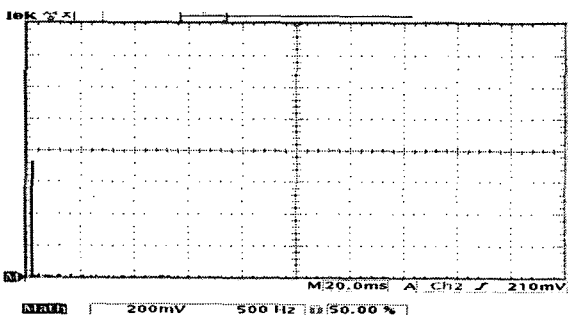


그림 12 PQC 모드 중 충전 모드 일 때의 실험 파형
Fig. 12 Experimental waveforms of the PQC mode at charging mode

그림 11은 시뮬레이션 결과 파형인 그림 7 (a)의 유도성 정류기 부하 조건 일 때의 방전 모드 실험파형으로 시뮬레이션 결과와 근사함을 확인할 수 있다. 그림 11에서 제안된 시스템은 배터리에 저장된 에너지가 충분하다고 판단되면 배터리의 전력을 이용하여 부하에서 요구하는 전력을 인버터가 일정 부분 분담하고 있음을 확인할 수 있으며, 동시에 부하전류의 고조파 성분을 보상함으로써 계통전류는 정현파에 근사함을 확인할 수 있다. 그림 12는 시뮬레이션 결과 파형인 그림 8 (b)의 콘덴서 입력형 정류기 부하 조건 일 때의 충전 모드 실험 파형으로 시뮬레이션 결과와 근사함을 확인할 수 있다. 그림 12에서 부하는 최대 부하에서 약 40[%]가 감소된 부하조건으로 계통은 부하의 유효전력 뿐 아니라 인버터에도 유효전력을 공급하여 배터리에 에너지를 저장하고 있음을 확인할 수 있다. 제안된 시스템의 PQC 모드 중 충전 모드는 계통의 최대전력량을 초과하지 않는 범위에서 충전비율을 결정하게 된다. 그림 10~12의 제안된 시스템의 PQC 동작시 계통의 역률 및 THD를 측정된 결과 계통의 역률은 항상 0.99이상을 유지하고 있으며, THD는 유도성 정류기 부하인 경우 약 3.9[%], 콘덴서 입력형 정류기 부하인 경우 약 4.5[%]로 측정되어 한전배전계통공급기준과 IEEE 표준규격인 5[%]이내를 만족하고 있음을 확인하였다. 그림 13은 유도성 정류기 부하인 경우의 계통 전류의 스펙트럼 파형으로 그림 13 (a)는 비제어시, (b)는 PQC 제어시의 실험결과 파형이다.



(a) 비 제어시



(b) PQC 제어시

그림 13 유도성 정류기 부하시의 계통전류의 스펙트럼 파형
Fig. 13 FFT waveforms of the grid current at the diode bridge rectifier with RL

그림 14는 제안된 시스템의 UPS 동작 실험 파형으로, 위로부터 부하전압, 계통전류, 부하전류, 인버터 전류이며 부하 조건은 저항 부하이다. 그림 14에서처럼 계통 고장 발생 시에 부하에 정전압을 공급하고 있음을 확인할 수 있다.

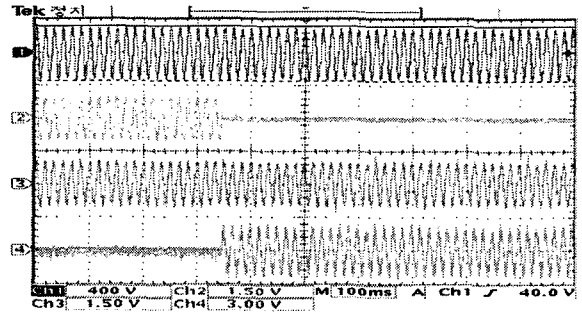


그림 14 UPS 모드 일 때의 실험 파형
Fig. 14 Experimental waveforms of the UPS mode

4. 결 론

본 연구에서 계통연계형 시스템에서 요구되는 전력품질 개선, 부하수요관리, 무정전전원공급 기능 등을 하나의 시스템에서 통합 운영할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계 전류 제어형 전압원 인버터를 제안하였고, 부하조건 및 계통의 이상유무에 따른 모드별 동작원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였다. 또한, 시뮬레이션 프로그램 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였으며 1[KVA]급 시작품을 제작 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제안된 시스템은 비선형 부하를 포함한 모든 부하조건에서 계통의 역률을 항상 0.99이상을 유지 할 수 있고, THD를 4.5[%] 이내로 저감할 수 있어 한전배전계통공급기준 및 IEEE 표준규격을 만족한다.
2. 제안된 시스템은 배터리를 이용하여 계통 및 부하조건에 따라 일정범위 안에서 첨두부하 시 계통의 전력을 일부 분담하고 낮은 부하 시 계통의 잉여전력을 충전함으로써 전력사용의 효율성을 향상시킬 수 있다.
3. 제안된 시스템은 계통의 이상유무를 항상 모니터링 하여 고장 발생 시 부하에 일정기간동안 정전압을 공급할 수 있다.

이상의 결과로 본 연구에서 제안한 시스템이 추가적인 장치 없이 계통의 전력품질 향상 및 안정적 전력공급에 유용함을 확인하였다. 따라서 제안된 시스템은 기존의 시스템과 비교하여 시스템의 소형 경량화 및 가격 면에서 장점이 있어 실제 시스템의 구축, 설계 및 보급에 유리하다.

참 고 문 헌

- [1] A.M. Sharaf and A.R.N.M.R.U. Haque, "Low cost utility interconnected photovoltaic scheme for residential/ village/ cottage electricity", Proceedings of the System Theory SSST, vol. 1, pp. 435-438, March 2005.
- [2] IEEE Standard 1159, "Monitoring Electric Power Quality," in IEEE Standards Board, 1995.
- [3] M. Dai, M.N. Marwail, J.W. Jung and A. Keyhani, "Power flow control of a single distributed generation unit with nonlinear local load", Conf. Rec. of IEEE PES 2004, vol. 1, pp.398-403, Oct. 2004.
- [4] B.Singh, K. Al-Haddad. and A. Chandra, "A review of active filter for power quality improvement", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 46, No.5, pp960-971, Oct. 1999.
- [5] T. Kawabata, N. Sashida, Y. Yamamoto, K. Ogasawara and Y. Yamasaki, "Parallel Processing Inverter System", IEEE Trans. power Electronics, vol.6, no.3, pp.442-450, July. 1991..
- [6] L. J. Borle, M.S. Michael and C. V. Nayar, "Development and Testing of a 20-kW Grid Interactive Photo voltaic Power Conditioning System in Western Australia", IEEE Trans, Industry Applications, vol. 33. no. 2. pp. 502-508, March, 1997.
- [7] H. Dehbonei, C. V. Nayar, and L. Chang, "A New Modular Hybrid Power System," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2003.
- [8] S.H. Ko, S.R. Lee, H. Dehbonei and C.V nayar,"Application of Voltage and Current Controlled Voltage Source Inverters For Distributed Generation Systems", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.21, no.13 pp. 782-792, setember, 2006.
- [9] H. Dehbonei, C. V. Nayar, and L. Borle, "A Combined Voltage Controlled and Current Controlled 'Dual Converter' for a Weak Grid Connected Photovoltaic System with Battery Energy Storage," IEEE Power Electronics Specialists Conference, Cairns, pp985-990, 2002.

저 자 소 개



고 성 훈 (高 晟 勳)

1972년 6월 1일생. 1998년 군산대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자정보공학부 졸업(박사). 2000년~2001년 (주)서영전자 연구개발실 근무. 2004년~2005년 호주 Curtin University of Technology. visiting research fellow. 2007년~현재 전북대학교 전자정보 고급인력양성사업단 박사후연구원.
E-mail : merchin@kunsan.ac.kr



임 성 훈 (林 成 勳)

1973년 11월 1일생. 1996년 전북대학교 전기공학과 졸업(학사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년~2005년 전북대학교 공업기술연구센터 연구원. 2006년~현재 숭실대학교 전기공학부 전임강사.
E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr



이 수 원 (李 洙 原)

1968년 5월 4일생. 1991년 전북대학교 전기공학과 졸업(학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사) 2001년~2006년 군산대학교 BK21 계약교수, 2006년~현재 연세대학교 TMS 정보기술사업단 연구교수.
E-mail : swon@yonsei.ac.kr



이 성 룡 (李 星 龍)

1958년 11월 30일생. 1980년 명지대 전기공학과 졸업(학사). 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~1998년 Virginia Tech. visiting professor. 2003년~2005년 호주 Curtin University of Technology. visiting professor. 1990년~현재 군산대 전자정보공학부 교수.
E-mail : srlee@kunsan.ac.kr