

UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 인버터 시스템

이 성룡, 이 수원, 고 성훈, 강 대업
 군산대학교 공과대학 전자정보공학부

Gird-interactive Current Controlled Inverter System with UPS

Seong-Ryong Lee, Su-Won Lee, Sung-Hun Ko, Dae-Up Kang
 School of Electronic & Information Eng. Kunsan National University

Abstract - 본 논문에서는 계통연계형 인버터에서 요구되는 전력품질 개선 기능, 부하수요관리 기능, 무정전전원공급 기능 등을 전류제어형 전압원 인버터 시스템에서 통합적으로 수행할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계형 전류제어 인버터를 제안한다. 제안된 시스템은 정상시에는 무효전력 보상, 고조파 저감, 부하수요관리 등의 PCS(Power Conditioning System) 기능을 수행하고 계통 고장시에는 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 부하에 즉시 정전압을 공급하는 UPS 기능을 수행한다. 본 연구에서는 제안된 시스템의 동작원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하고 시뮬레이션을 통하여 유용성을 확인한다.

1. 서 론

급격한 산업 및 정보통신의 발전으로 에너지 사용 증가에 따른 환경오염 및 기후변화의 문제와 비선형 부하의 대증적 확산으로 인한 계통 전력의 품질을 저하시키는 문제는 크게 증가하고 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]-[2].

- 무효전력 보상 : 계통의 고조파 감소 및 역률 개선 (IEEE std-1159 및 한전 배전계통 공급기준에 만족하는 역률 0.9이상, THD 5%이내)
- 유효전력 공급 : 신재생에너지 및 배터리를 이용하여 첨두부하 및 부하운전 스케줄에 따른 전력공급을 통한 부하수요관리
- 무정전 전원 공급 : 계통 고장 발생시 즉시 부하에 정전압을 공급.

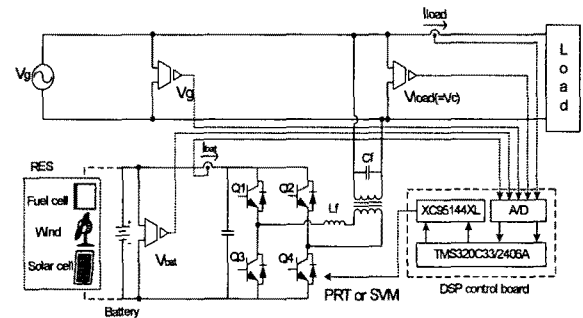
이러한 사항을 만족하기 위해서는 계통 연계형 시스템에 사용되어지는 인버터는 양방향으로 전력 수송이 가능해야 하며 배터리 또는 신재생에너지의 출력이 DC 전압원 형태이므로 양방향 전압원 인버터(VCVSI: Voltage Source Inverter)를 주로 사용한다. 계통연계에 사용되어지는 전압원 인버터는 인버터 출력 전압을 제어하는 전압제어형 전압원 인버터(VCVSI: Voltage Source VSI)와 인버터 출력 전류를 제어하는 전류제어형 전압원 인버터(CCVSI: Current Controlled VSI)로 구분할 수 있다. VCVSI는 계통과 인버터가 더커플링 인덕터로 분리되어 있는 구조로 부하 전압 안정화 성능은 매우 우수하지만 낮은 부하시 역률이 급격하게 저하되고 CCVSI와 비교하여 응답속도 및 고조파 저감 성능이 떨어진다. CCVSI는 스위칭 순간에 출력전류를 제어할 수 있어 응답속도가 빠르며 인버터 입력 변동에도 지령 전류를 잘 추종할 수 있기 때문에 고조파 저감 및 역률 향상 기능이 매우 우수하지만 계통의 입력 변동이나 고장 발생시 부하 전압 안정화 성능은 떨어진다[3]. 따라서, 계통 연계형 시스템의 여러 가지 요구사항을 만족시키기 위해 기존의 시스템은 여러 가지 장치들을 조합하여 사용 하기 때문에 시스템의 대형화, 비효율성, 가격 상승 등의 문제점이 발생하게 된다.

그러므로, 본 논문에서는 계통 연계형 시스템에서 요구되는 전력품질 개선 기능, 수요관리 기능과 무정전 전원공급 기능을 하나의 시스템에서 통합적으로 수행할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 인버터 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 추가적인 장치 없이 기존의 계통연계 전류제어형 인버터 시스템과 같은 토폴로지를 채택한다. 제안된 시스템은 부하 수요 관리 및 UPS 기능을 수행하기 위해 배터리를 사용하는데, 태양광 및 연료전지 같은 신재생에너지와 결합하여 사용하거나 낮은 부하시 계통의 잉여전력을 충전하여 사용도 가능하다. 시스템의 동작은 크게 PCS 모드와 UPS 모드로 구분할 수 있다. PCS 모드에서는 한전배전계통 공급기준과 IEEE 규격을 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 기능을 수행한다. UPS 모드에서는 계통의 이상유무를 항상 모니터링하여 고장 발생시에는 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 부하에 즉시 정전압을 공급한다. PCS

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 두가지 방법은 모드에 따라 하나만 선택하여 사용하기 때문에 DSP 프로세서 하나만을 사용한다. 따라서, 본 연구에서 제안한 시스템은 계통연계형 시스템에서 요구하는 여러 가지 기능 등을 모두 만족할 수 있는 장점을 가진다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 부하 조건 및 계통의 상태에 따른 모드별 동작 원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시스템이 유용성을 확인하였다.

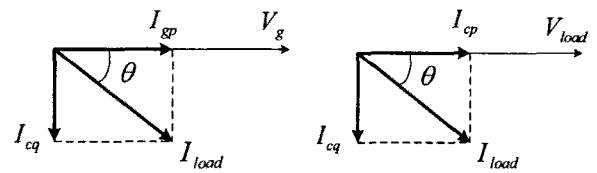
2. UPS를 고려한 계통연계 전류제어형 인버터 시스템

계통 연계형 시스템의 주된 기능으로서는 계통의 고조파 감소 및 역률을 개선할 수 있는 전력품질 개선 기능, 계통의 전력수요에 따라 첨두부하와 같은 계통의 편차를 제거하거나 부하운전 스케줄에 따라 신재생에너지원을 이용하여 계통의 전력을 분담하는 수요관리 기능 및 계통의 고장 발생시에도 즉시 부하에 전력을 공급할 수 있는 무정전 전원공급 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 계통연계형 전류제어형 인버터 시스템을 제안하였다. 그림 1은 제안된 시스템의 전체 구성도이다. 제안된 시스템은 단상 풀브릿지 전압원 인버터, 배터리, DSP를 이용한 제어 모듈, 센싱 및 인터페이스 모듈로 구성된다. 또한, 태양광, 연료전지와 같은 신재생에너지와 관련하여 사용할 수 있다.



〈그림 1〉 제안된 시스템의 전체 구성도

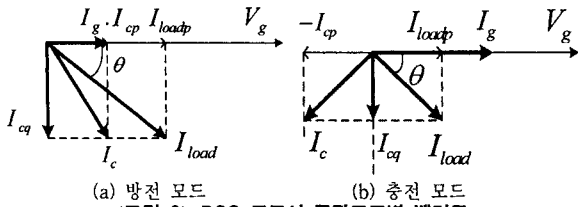
그림 1의 제안된 시스템은 기본적으로 역률 개선, 고조파 저감, 부하 수요관리 기능 등을 수행해야 하기 때문에 계통에 병렬로 연결된 전압원 인버터는 전류제어형으로 동작하며 교류전류원으로 해석이 가능하다. 또한, 계통의 고장 발생시에는 부하에 정전압을 공급해야 하기 때문에 계통에 병렬로 연결된 전압원 인버터 전압제어형으로 동작해야 하며 이때는 교류전압원으로 해석할 수 있다. 제안된 시스템은 PCS 모드(그림 2 (a))와 UPS 모드(그림 2(b))로 구분할 수 있으며 PCS 모드는 다시 부하에 전력을 공급하는 방전 모드(그림 3(a))와 배터리에 에너지를 저장하는 충전 모드(그림 3(b))로 구분할 수 있다.



(a) PCS 모드 (b) UPS 모드

〈그림 2〉 제안된 시스템의 동작모드별 벡터도

여기서, I_{gp} 는 계통의 유효전류, I_{cp} 는 인버터의 유효전류, I_{cq} 는 인버터의 무효전류이다.



(a) 방전 모드 (b) 충전 모드
〈그림 3〉 PCS 모드시 동작모드별 벡터도

여기서, 계통 전류 I_g 는 순수 유효전류 성분이며 I_{loadp} 는 부하에서 요구하는 유효전류 성분이다.

PCS 모드는 기본적으로 부하 조건(역률 부하 및 비선형 부하)에 따라 무효전력을 보상하거나 고조파를 저감하여 전력품질을 향상시키며 동시에 컷두부하시에 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 계통의 편차를 제거하는 부하수요관리 등을 수행한다. 부하전류(I_{load})는 계통 전류(I_g)와 인버터 전류(I_c)의 합으로 표현되며, 계통의 품질향상을 위해서는 항상 계통전류는 유효전류(I_{gp})만을 공급해야 하며 계통의 지령 전류 (I_g^*)는 다음과 같이 구할 수 있다.

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

그러므로, PCS 모드에서 요구되는 인버터의 지령 전류(I_c)는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

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

또한, 그림 3의 (a)의 방전모드처럼 배터리의 에너지를 계통 또는 부하에 공급하는 방전 모드에서는 인버터가 부하의 유효전력성분의 일정부분을 부담하게 되며 그림 3의 (b)의 충전모드에서는 낮은 부하일 때 계통의 유효전력은 부하 및 배터리에 공급할 수 있다. 이 두 가지 모드에서도 부하의 무효전력 성분은 인버터가 전부 부담해야 하며 식 (2)는 다음과 같이 다시 구할 수 있다.

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

또한, UPS 모드시에는 부하에서 요구되는 유효전력 및 무효전력성분을 인버터에서 모두 공급($I_c^* = I_{load}$) 해야 하며, 이때 부하 전압(V_{load})에 정전압($V_c^* = V_{load}$)을 유지할 수 있어야 한다. 따라서, 배터리의 용량 선정은 고장 발생시 부하에 전력을 공급하는 백업시간에 따라 결정된다.

본 연구에서 제안한 시스템의 제어 알고리즘은 부하조건 및 배터리의 상태에 따라 인버터의 지령전류(I_c^*)를 생성하는 PCS 제어 알고리즘과 계통의 고장발생시 인버터의 지령전압(V_c^*)을 생성하는 UPS 제어 알고리즘으로 구분할 수 있으며 DSP를 이용하여 두가지 중 하나를 선택하여 동작한다. PCS 제어 알고리즘에서 필요한 정보는 계통전압의 위상 및 크기, 부하 조건 및 배터리의 전력이다. 이러한 측정된 값을 이용하여 배터리의 상태에 따라 지령전류(I_c^*)를 생성하고, 생성된 지령전류는 PRT 전류제어알고리즘으로 전달된다. PRT 전류제어알고리즘은 실제 인버터 전류와 지령전류의 오차신호를 가지고 PWM 스위칭 패턴을 결정한다. UPS 모드시에 필요한 정보는 계통의 이상유무, 인버터 전압, 배터리의 전력이다. 이러한 측정된 값을 이용하여 인버터의 지령전압(V_c^*)을 생성하고 SVM 전압제어 알고리즘으로 전달하여 인버터 실제 출력 전압(캐패시터 전압 피드백)과 지령전압의 오차신호를 가지고 PWM 스위칭 패턴을 결정하게 된다.

3. 시뮬레이션

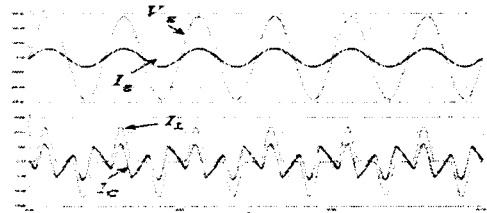
본 연구에서 제안한 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 사용하였으며 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

〈표 1〉 시뮬레이션 조건

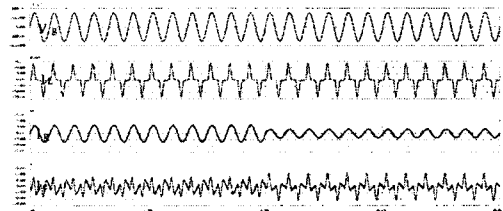
Parameters	Values	Parameters	Values
Vac	220Vrms	Vdc	200V
기본 주파수	60Hz	스위칭 주파수	5kHz
필터 인덕터	6mH	필터 캐패시터	9.26uF
변압기 권선비	1: 2	DC 링크 캐패시터	3300uF

그림 4와 5는 부하 1KVA의 비선형 부하시의 PCS 모드 동작 시뮬레이션 결과이며, 위로부터 계통전압(V_g), 부하전류(I_L), 계통전류(I_g), 인버터전류(I_c)이다. 그림 4의 시뮬레이션 결과를 보면 비선형 부하시에도 계통 전압과 전류는 위상차가 없는 정현파로 고조파 감소 및 단위역률 제어가 가능함을 확인할 수 있다. 그림 5의 (a)는 배터리에 저장된 에너지를 부하 또는 계통에 공급하는 방전모드, 그림 5의 (b)는 계통의 전력을 배터리에 저장하는 충전모드 시뮬레이션 결과이다. 두가지 모두 비선형 부하임에도 불

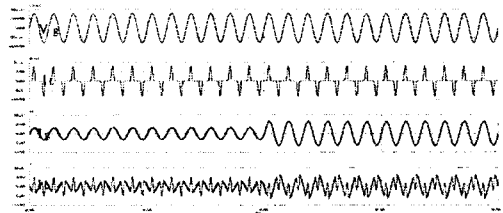
구하고 계통의 전압과 전류는 위상차가 없는 정현파임을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 PCS 모드시 시뮬레이션 결과



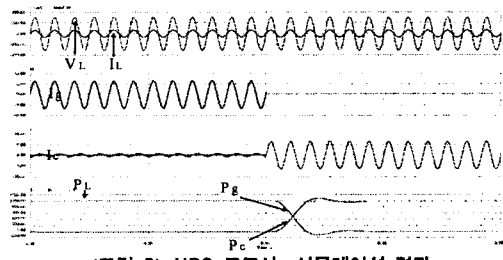
(a) 방전 모드



(b) 충전 모드

〈그림 5〉 PCS 모드시 부하수요관리 시뮬레이션 결과

그림 6은 제안된 시스템의 UPS 모드 동작 시뮬레이션 결과이며, 위로부터 부하 전압 및 전류(V_L, I_L), 계통전류(I_g), 인버터전류(I_c) 그리고 부하, 계통, 인버터의 유효전력(P_L, P_g, P_c)이다.



〈그림 6〉 UPS 모드시 시뮬레이션 결과

그림 6의 시뮬레이션 결과를 보면 계통의 고장 발생시(P_g)에도 배터리의 전력을 이용하여 인버터(P_c)가 부하(P_L)에 안정된 전력을 공급할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 계통연계형 시스템에서 요구되는 전력품질 개선, 부하수요관리, 무정전전원공급 기능 등을 하나의 시스템에서 통합 운영할 수 있는 UPS를 고려한 계통연계형 전류제어형 인버터를 제안하였고, 부하조건 및 계통의 이상유무에 따른 모드별 동작원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였으며 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 시스템은 정상시 PCS 제어 알고리즘을 통해 단위역률, 고조파 감소 및 부하수요관리 기능이 우수함을 확인하였다. 또한, 계통 고장시에는 UPS 제어 알고리즘을 통해 즉시 부하에 전력을 공급함으로써 안정된 전력공급을 할 수 있음을 확인하였다.

〈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] S.H. Ko, S.R. Lee, H. Edhbonei and C.V nayar, "Application of Voltage and Current Controlled Voltage Source Inverters For Distributed Generation Systems", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.(in press), 2006