

AC 라인 리액터와 병렬 및 직렬 능동필터를 가지는 새로운 3상 Line-Interactive UPS 시스템의 전압제어 방식

지 준 근

순천향대학교 정보기술공학부

Voltage Control Strategy of new 3-phase Line-Interactive UPS System using AC Line Reactor and Parallel-Series Active Filter

Jun-Keun Ji

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

ABSTRACT

A new 3-phase line-interactive UPS(Uninterruptible Power Supply) system with parallel-series active power-line conditioning capability using AC line reactor and two four-leg PWM VSCs(Voltage Source Converters) was introduced recently. In this paper, the strategy of voltage control in suggested UPS system is explained. The objective of proposed voltage controllers in parallel(shunt) and series PWM VSC is to guarantee satisfactory characteristics in steady state and transient state.

1. 서 론

최근에는 UPS의 본래 목적인 전력 공급 기능 외에 공급자 및 수용가 양측에 영향을 주는 전력 품질 관리(Power Quality Conditioning) 기능을 가지고 있는 UPS에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다.^[1] 또한 동적 전압 보상기나 UPS같은 전력 품질 기기는 인버터에 LC 필터가 부착되어 있는 형태의 전압 보상기를 가지고 있다. 따라서 전압 제어기의 목적은 LC 필터의 커패시터 전압을 제어하는 것이며, 이러한 전압 제어기의 성능은 매우 중요하고 많은 연구가 진행되어 왔다.^[2,3]

본 논문에서는 AC 라인 리액터와 병렬 및 직렬 능동필터를 가지는 새로운 3상 Line-Interactive UPS 시스템의 새로운 전압제어 방식에 대하여 제안한다. 제안하는 병렬 및 직렬 인버터의 전압제어 방식은 전압제어에 필요한 속응성과 정확도를 만족하는 제어방식임을 실험을 통해서 검증하였다.

2. 제안된 UPS 시스템^[1]

제안된 UPS 시스템의 전력회로는 그림 1과 같

이 AC 리액터와 병렬 및 직렬 4레그 PWM 인버터로 구성된다. 본 절에서는 제안된 UPS시스템의 각 부분에 대해서 간단히 설명하겠다.

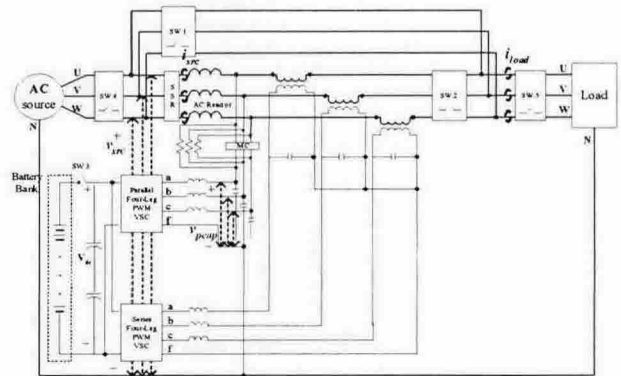


그림 1 제안된 UPS시스템의 전력회로도

Fig.1 Power circuit diagram of suggested UPS system

2.1 AC 리액터

AC 리액터는 전원의 기준임피던스의 10~20% 정도로 설계되었으며, 전체 시스템의 정격 전류가 동통해야하기 때문에 부피와 가격의 상승을 가져온다. 하지만, 전원 측의 전압 surge와 같은 전원급변 상황에 대해서 시스템을 보호해 주는 역할을 수행할 수 있으며, 병렬인버터의 제어모드를 전압제어 모드로 수행하게 하여 전원 측의 전류를 간접적으로 제어할 수 있게 한다.

2.2 병렬 PWM 인버터

병렬인버터는 LC 필터의 전압제어를 통해서 간접적인 AC 리액터의 전류제어를 수행한다. 이를 통해 배터리 뱅크(bank)를 충전시키는 역할과 부하 측의 고조파전류를 공급함으로써 전원 측의 역률 1을 보장하게 한다.

2.3 직렬 PWM 인버터

직렬인버터는 LC 필터의 전압제어를 통해 출력 전압파형을 전원과 동기된 전압으로 만들어 준다. 병렬인버터의 출력전압은 전원과의 위상이 AC 리액터와 전원전류에 의해서 벌어지게 되므로, 전원과 동기 시키기 위해서는 AC 리액터의 전압 강하를 직렬인버터에서 보상해 주어야 한다. 부가적으로 병렬인버터에서 보상하지 못한 고조파도 직렬인버터에서 보상하는 역할을 한다.

3. 제안된 UPS 시스템의 전압제어기

그림 2는 제안된 UPS 시스템의 전체 제어 블록도이다. 앞서 설명한 병렬 및 직렬 인버터의 역할을 수행하기 위해서 각 인버터의 전압제어 방법에 대해서 설명하기로 한다.

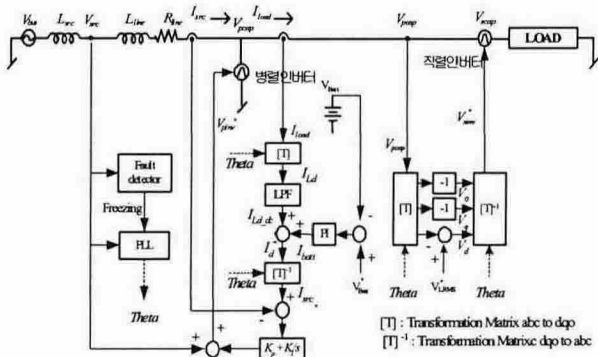


그림 2 전체 제어 블록도
Fig. 2 Entire control block diagram

3.1 병렬인버터의 전압제어기

병렬인버터의 전압제어기는 LC 필터단의 커패시터 전압을 제어함으로써 AC 리액터에 흐르는 전류를 간접적으로 제어하여야 한다. 제어하는 전압의 과도상태나 정상상태의 특성을 높이는 것이 목적이 아니고 AC 리액터에 흐르는 전류의 제어가 주요 목표라 할 수 있다. 전향보상형 전압제어기의 경우 과도한 응답방지를 위해 댐핑성분을 늘렸기 때문에 위상지연이 발생할 수 있고, 전압케환형 전압제어기는 제어기 대역폭 제한이나 과도상태 응답성이 문제가 되며, 또한 전압측정지연이나 데드타임과 같은 원인으로 완벽한 전압제어가 수행되기 힘들다. 따라서 전향보상형 전압제어기나 전압케환형 제어기만으로는 이상적인 전류제어 성능을 발휘하기 힘들다.^[2,3]

병렬인버터의 전압제어기에서 한 가지 고려해야 할 점은 출력할 전압지령이 실제 전원전압과 AC 리액터에 걸리는 전압만큼의 차이만 있다는 점이다. 또한 주요 제어 목적이 영상분 전류의 제거 및 유효전력분 전류만 흐르게 하여 역률을 1로 유지하는 것이기 때문에 AC 리액터의 전류제어가 중요한

부분이 된다는 점이다. 따라서 그림 3과 같이 병렬인버터의 전압제어기는 AC 리액터에 흐르는 전류를 케환하여 PI 제어기를 구현하였고, 전원전압의 전향보상 부분을 첨가하였다. 기본적으로는 전원전압을 따라가다가, 유효전력성분의 전류가 필요할 때는 PI 제어기가 병렬 커패시터 전압의 위상을 전원전압의 위상과 차이를 만들어서 유효전력성분의 전류가 흐르게 하는 역할을 담당하게 된다. 따라서 제어기 응답에 따른 전압파형의 왜곡이 존재할 수 있지만, 병렬인버터의 제어에 의해 발생할 수 있는 전압왜곡은 직렬인버터에서 보상하게 되므로 부하측에서는 문제가 되지 않는다.

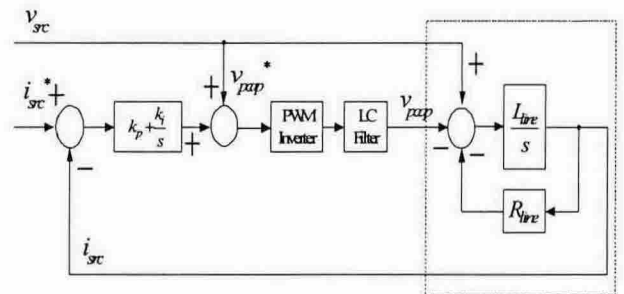


그림 3 병렬 인버터의 전압제어기
Fig. 3 Voltage Controller of parallel (shunt) inverter

제어기 이득 설정 방법은 시스템의 전달함수를 계산하기 위해 식 (1)과 같이 시스템 분석을 통해서 식 (2)와 같은 전류응답 전달함수를 구할 수 있다.

$$v_{src} - \left[(i_{src}^* - i_{src}) (k_p + k_i/s) + v_{src} \right] = i_{src} (R_{line} + sL_{line}) \quad (1)$$

$$\frac{i_{src}}{i_{src}^*} = \frac{-k_p s - k_i}{L_{line} s^2 + (R_{line} - k_p) s - k_i} \quad (2)$$

따라서, 원하는 시스템의 댐핑과 대역폭을 결정한 후, 비례계인과 적분계인을 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$2\zeta\omega_n = \frac{R_{line} - k_p}{L_{line}}, \quad \omega_n^2 = \frac{-k_i}{L_{line}} \quad (3)$$

3.2 직렬인버터의 전압제어기

직렬인버터는 앞 절에서도 언급했듯이 병렬인버터에 의해 제어되는 AC 리액터 전류에 의한 전압강하에 해당되는 전압부분과 병렬인버터 커패시터 전압의 기본파를 제외한 고조파 전압부분을 보상해야 한다. 직렬인버터의 전압제어기는 과도상태 응답을 개선하기 위해 전향보상형 제어기를 사용하였다.^[2,3]

과도상태에서의 동특성을 개선하기 위하여 인버터 전류에 이득을 곱한 값을 케환하여 출력 지령으로 내보내는 방법을 사용하였고, 그림 4에 제어블록도를 나타내었다. 그림 4에서 보는 것처럼 이러

한 방식의 제어기는 인버터 전류 출력 I_s 에 제한이득 R_{damp} 를 곱한 값을 인버터 전압 지령에서 빼주어 전체 시스템의 감쇠 성분을 증가시킨 것이다.

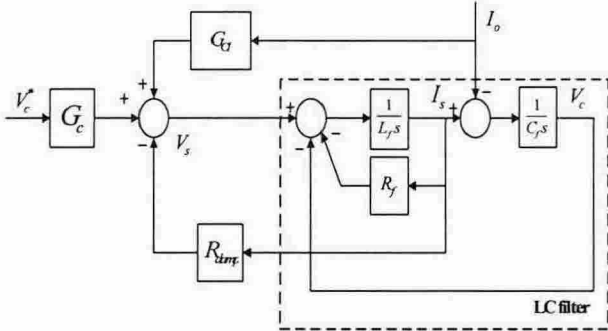


그림 4 직렬 인버터의 전압제어기

Fig. 4 Voltage Controller of series inverter

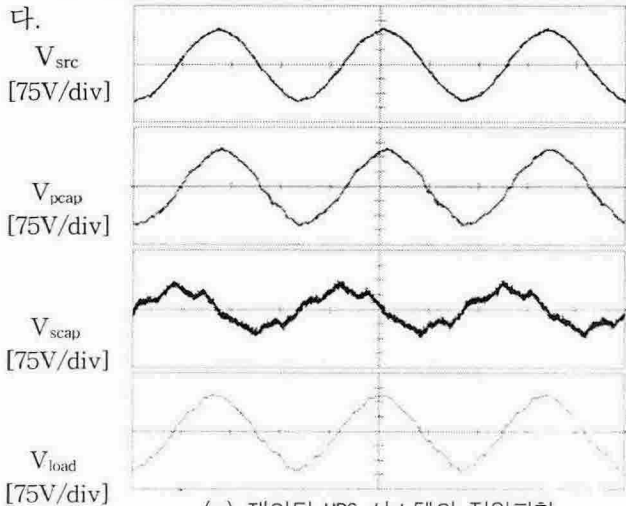
여기서 G_{cl} 는 부하 전류로 인한 전압 왜곡을 방지하기 위한 것이다. 식 (4)와 (5)는 이러한 전압제어기를 이용한 LC 필터의 전달함수와 감쇠 성분을 나타내었다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{s^2 L_f C_f + s(R_f + R_{damp})C_f + 1} \quad (4)$$

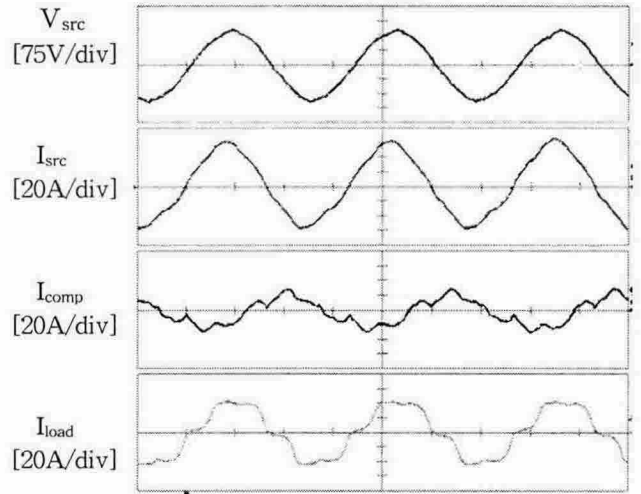
$$\zeta_f = \frac{(R_f + R_{damp})}{2} \sqrt{\frac{C_f}{L_f}} \quad (5)$$

4. 실험 결과

그림 5는 제안된 60KVA UPS 시스템의 정상모드의 경우 실험파형이다. 정상모드에서는 배터리 충전전류와 부하전류의 유효전류성분을 전원 단에서 공급받으므로 전원전류는 전원과 동기된 정현파가 된다. 또한 병렬 및 직렬 인버터 출력전압 제어가 잘 되는 것을 출력전압 파형을 통해 알 수 있다.



(a) 제안된 UPS 시스템의 전압파형



(b) 제안된 UPS 시스템의 전류파형

그림 5. 제안된 UPS 시스템의 정상모드 응답
Fig. 5 Normal mode response of suggested UPS system

5. 결론

본 논문에서는 AC 라인 리액터와 병렬 및 직렬 능동필터를 가지는 새로운 3상 Line-Interactive UPS 시스템의 전압제어 방식에 대해 제안하였다.

제안한 병렬 및 직렬 인버터의 전압제어방식은 새로운 3상 Line-Interactive UPS 시스템에서 병렬 및 직렬 인버터의 전압제어에 필요한 속응성과 정확도를 만족하는 제어방식임을 60KVA UPS 시스템의 정상모드 실험을 통해서 입증하였다.

본 연구는 2004년도 과학기술부 지역대학우수과학자지원사업의 연구비 지원에 의한 것입니다

참고 문헌

- [1] Jun-Keun Ji, Jang-Hwan Kim, Seung-Ki Sul, Hyo-Sung Kim, "A Novel Three-Phase Line-Interactive UPS System with Parallel-Series Active Power-Line Conditioning Capabilities Using AC Line Reactor," Conference Record of IECON'04, Ind. Application, vol. 38, FB2-6, Nov, 2004.
- [2] Sang-Joon Lee, Hyo-Sung Kim, Seung-Ki Sul, Frede Blaabjerg, "A Novel Control Algorithm for Static Series Compensators by Use of PQR Instantaneous Power Theory," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 19, No. 3, pp. 814-827, May, 2004.
- [3] Sang-Jun Lee, "New PLL Method and Voltage Controller of Series Compensator for Voltage Sag Compensation," Ph. D Thesis, 2003.
- [4] 설승기, "전기기기제어론", 브레인 코리아, 2002.