

## 45kVA UPQC 제어 알고리즘 설계

전진홍\*, 김태진\*\*, 류홍제\*\*, 안종보\*

\*한국전기연구원 전력연구단, \*\*한국전기연구원 산업전기연구단

### A Control Algorithm Design for 45kVA UPQC Prototype

JEON Jin-Hong, KIM Tae-Jin, Ryoo Hong-Je, AHN Jong-Bo

Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - In recent years, customers and power supplies are interested in power quality. Demands of customers are change from standard quality of distribution power system to various high quality of distribution power system. so, it is necessary to apply power quality compensator. in our project, we develop the UPQC(Unfied Power Quality Compensator) of 45kVA which compensates power factor and voltage sag, interruption. it is very frequently occurred power quality problems. As a series and shunt compensator, UPQC consists of two inverters with common dc link capacitor bank. It compensates the current quality in the shunt part and the voltage quality in the series part. In this paper, we present simulation and test result of developed UPQC system. Test for UPQC are performed at voltage sag, flickers and non-linear load conditions. For voltage sag and flicker generation, we use RTDS(Real Time Digital Simulator) and power amplifier system.

### 1. 서 론

최근 국내에서도 전기품질 문제의 의해 발생하는 피해 사례가 발표되고, 이에 따른 손해배상을 한전에 요구하는 등 전기품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 따라서 수용가들 또한 종래의 획일적인 품질로 전력을 공급받아야 했던 수동적인 입장에서 자신에게 필요한 품질로 전력을 공급방식 원하는 다품질 전력공급 시스템을 요구하는 능동적인 입장으로 바뀌고 있다. 이와 같은 수용가의 용구에 대처하고 기회비용을 줄여 기업 및 국가의 경쟁력을 높이기 위해서는 전기품질 향상기기의 도입이 필수적이다<sup>[1-3]</sup>. 전력품질 저하의 개선은 가까운 미래에 실현될 것으로 보이는 전력공급의 다원화에 따른 전력사업의 경쟁체제하에서 가장 중요한 부분을 차지할 것으로 보이며, 전력공급업자 또한 고품질의 전력을 소비자에게 공급하여야 할 것으로 보인다. 이와 같은 시대의 흐름에 따라 전력품질개선에 대한 많은 관심과 연구가 국내외에서 활발히 진행되어지고 있다<sup>[1-5]</sup>.

전력품질 개선에 대한 관심이 높아짐에 따라 최근 UPQC에 대한 많은 연구가 진행되어지고 있다. UPQC는 일반적으로 배전선로의 PCC(point of common coupling)에 위치해 효율적인 선로관리를 하는 것을 주 임무로 한다. 일반적으로 UPQC는 직렬과 병렬인버터가 직류 캐패시터를 공유하는 형태로 구성되며, 선로 상에서 발생하는 전압변동, 고조파보상, 전력조류제어 등의 기능을 수행할 수 있다<sup>[6-8]</sup>.

본 논문에서는 45kVA UPQC 시작품의 기본적인 제어 알고리즘과 성능 평가를 위한 실험 결과를 제시하고자 한다. 개발된 시작품은 순간전압강하와 상승(Voltage Sag & Swell), 플리커(flicker) 등의 전압 품질을 보상할

수 있도록 설계되었으면 전압보상과 동시에 고조파 전류 및 역률이 보상가능하다. 개발된 시작품의 성능을 평가하기 위해서는 순간전압강하와 상승, 플리커 등의 전압 품질 문제를 발생시켜야 하며 이를 위하여 RTDS(Real Time Digital Simulator)와 전력 증폭기를 이용하였다. 또한 비선형 부하 및 역률 문제 발생을 위해서는 비선형 부하를 적용하였다. 본 연구에서 제시될 연구 결과는 향후 FACTS(Flexible AC Transmission System)와 분산 전원의 계통연계모듈의 제어 알고리즘 구현에도 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 2. 본 론

#### 2.1 UPQC 개요 및 사양

본 연구에서 개발하고자 하는 UPQC 시스템은 2개의 전압원 인버터가 DC 링크 캐패시터 백크를 공유해서 연결되어 있는 구조로 되어 있으며 기본 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

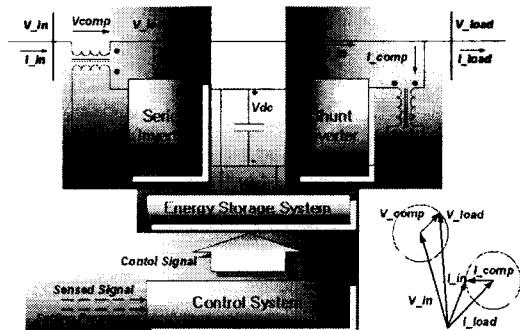


그림 1. 전기품질 보상기기(UPQC)의 구조  
3상 직렬보상형 Power Conditioning 장치

UPQC 시스템은 DC 링크 캐패시터 백크의 오른쪽의 직렬 인버터는 직렬삽입 변압기를 통해 배전선로에 연결되어 출력전압이 직렬삽입 변압기를 통해 배전선로로 직렬로 삽입될 수 있으며, DC 링크 캐패시터 백크의 왼쪽의 병렬 인버터는 병렬 변압기를 통해 배전선로에 병렬로 연결되어 있는 구조를 가진다. 이와 같은 구성상의 특징으로 배전선로의 전류 품질과 전압 품질을 독립적으로 제어하는 것이 가능하다<sup>[5-8]</sup>.

UPQC의 각 부분의 상세한 제어 기능과 제어를 위한 모형, 제어 알고리즘의 상세한 유도과정은 참고문헌[9]에 자세히 설명되어 있다. 또한, UPQC의 직렬부분과 병렬부분의 제어 알고리즘의 블록 선도와 출력전압의 벡터 다이어그램과 dq 변환관계 역시 참고문헌[10]에 제시되어 있으며 본 논문에서는 지면관계상 생략한다.

시작품의 사양 결정은 IEEE 1195-1995의 전력품질에 대한 사양 기준을 참고로 하였으며 위의 사양을 기준으로 한 시작품의 전력 품질 보상 범위는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 제작된 시작품의 전압 및 전류의 품질을 동시에 보상할 수 있도록 하였으며 전압 품질 보상은 순시전압상승과 강하, 플리커 보상이 가능하며 전류 품질 보상은 고조파 및 역률 보상이 가능하도록 하였다. 시작품의 주요 사양은 표 1과 같으며 구성과 실제 사진은 그림 3과 그림 4와 같다.

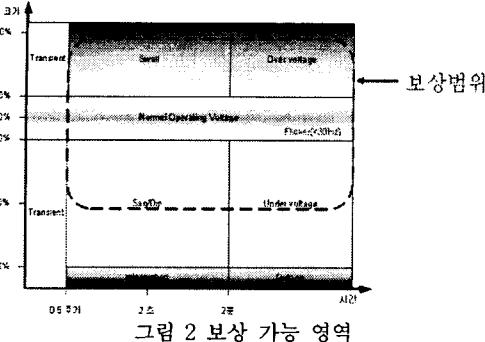


그림 2 보상 가능 영역

항목	사양
동작 주파수	60Hz
System Base Voltage	380V
System Base Power	45.0 KVA
직별령 인버터	10kHz, SVPWM
LC Filter	1.0 mH, 50uF
DC Link	13000uF, 700 WV
병렬 변압기	단상 15kVA 3모듈 △-Y
직렬 변압기	단상 15kVA 3모듈 1차측 △
최대 직렬 삽입 전압	190V

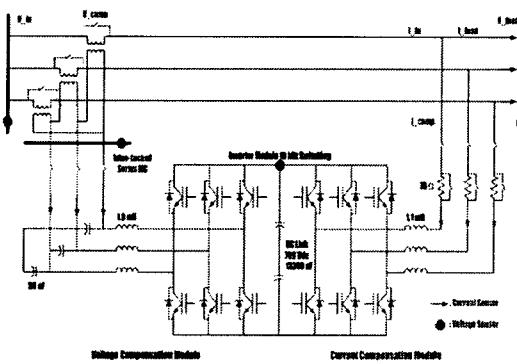


그림 3 시작품 구성도

## 2.2 제어 알고리즘

시작품에 적용된 제어 알고리즘은 크게 두 부분으로 나누어 구성되어 있다. 제어 목적과 대상을 전압 제어와 전류 제어로 나누어 생각할 수 있으며 이는 각각 시스템의 병렬 연계 부분과 직렬 연계 부분에 나누어 적용이 가능하다. 본 연구에서는 병렬 연계 부분에 전류 제어 알고리즘을 직렬 연계 부분에 전압 제어 알고리즘을 적용 시켰다.

병렬 부분의 주요 기능은 부하에서 발생된 고조파 전류와 역률을 보상하며 동시에 DC link 전압을 제어하는 것이다. 직렬 부분의 주요 기능은 배전 선로에서 발생된 이상 전압(순간전압상승 및 하강, 플리커)이 부하에 영향

을 주지 못하도록 부하에 인가되는 전압을 일정하게 유지하는 것이다. 이러한 제어 기능을 위한 제어 알고리즘의 기본 구조는 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 제어 알고리즘의 구조과 설계에 관련된 상세한 내용은 지면관계상 생략한다. 이에 대한 내용은 참고문헌[10]에 자세히 제시되어 있다.

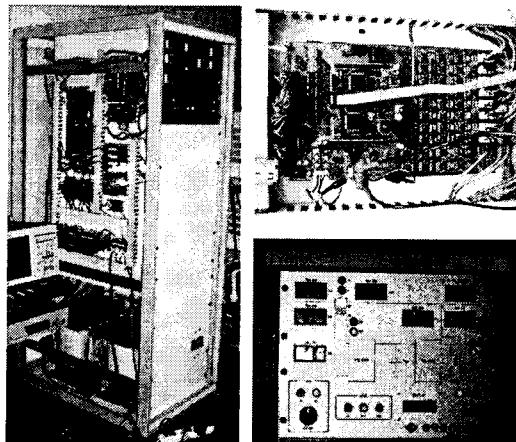


그림 4 시작품(전체 시스템, 제어장치, 전면 패널)

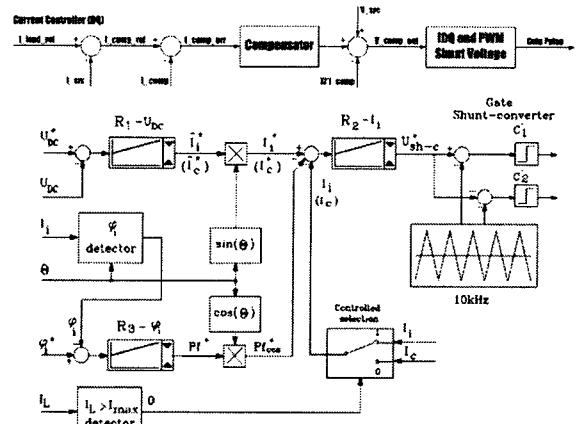


그림 5 병렬 부분(전류 보상) 제어 알고리즘 구성

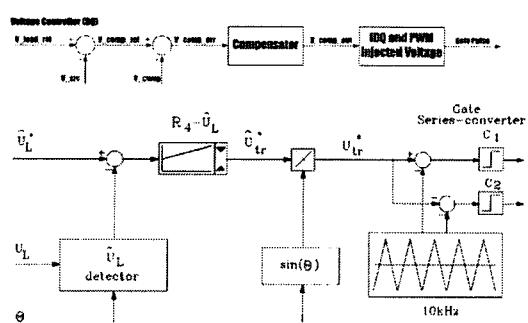


그림 6 직렬 부분(전압 보상) 제어 알고리즘 구성

### 2.3 실험 시스템 구성 및 결과

시제품의 제어 성능 검증을 위한 실험을 위해 그림 7과 같은 실험 시스템을 구성하였다. 일반적인 전원을 사용할 경우 원하는 전압 품질 문제를 구현하기가 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전압 품질 문제를 발생하기 위하여 RTDS를 이용하였다. RTDS와 전력증폭기를 이용하여 임의의 전압 발생이 가능한 전원을 구성하였으며 RTDS와 연결되어 있는 전력증폭기의 출력을 부하가 연결된 배전 모선으로 가정하였다. 또한 전류의 고조파와 역률 문제 발생을 위해서 비선형 부하와 가변 부하를 이용하였다.

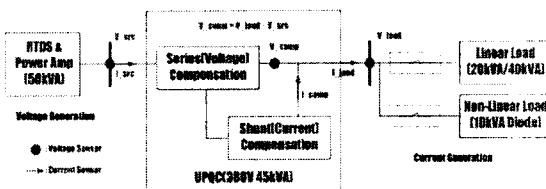


그림 7 실험 시스템 구성

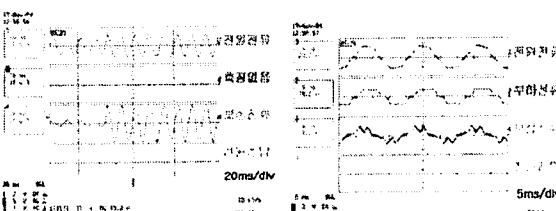


그림 8 전류 보상 결과

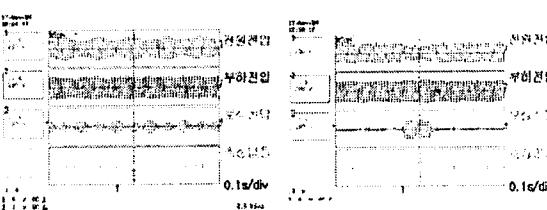


그림 9 전압 보상 결과

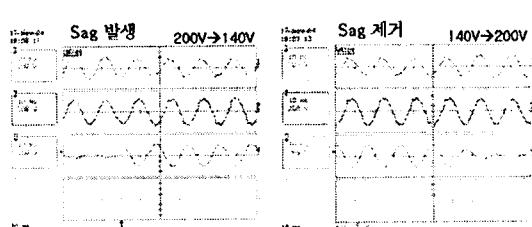


그림 10 sag/swell 보상 상세 확대

그림 8은 각각 전류 보상에 대한 결과이다. 그림 8(왼쪽)의 결과는 역률 보상의 결과를 나타낸 것이다. 보상 전류에 의한 무효 전력 공급을 통해 전원 전류의 위상이 변화한 것을 확인할 수 있다. 그림 8(오른쪽)의 결과는 고조파 전류의 보상을 나타낸 것이다. 보상 전류에 의한 고조파 전류 인가를 통해 전원 전류의 파형이 개선된 것을 확인할 수 있다.

그림 9와 그림 10은 각각 전압 보상에 대한 결과를 나타낸 것이다. 그림 9(왼쪽)의 결과는 플리커 보상에 대한

결과로 0.3p.u.의 크기와 5Hz의 주파수를 가지는 플리커에 대하여 보상 전압에 의한 전원전압의 보상결과를 확인할 수 있다. 그림 9(오른쪽)은 10주기 동안 0.3p.u.의 순간전압강하에 대한 보상 결과를 나타내고 있다. 보상 전압에 의한 전원 전압의 보상을 확인할 수 있다. 또한 그림 10은 순간전압강하의 발생 순간과 제거 순간에 대한 부분을 확대한 것으로 보상 시간이 1주기 이내임을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 45kVA급 UPQC 시작품 개발 연구로 진행되고 있는 UPQC 시뮬레이터의 기본 구조, 사양, 제어에 대하여 검토하고 제작된 시작품과 시험 결과를 제시하였다. 제시된 실험 결과를 통해 시작품에 적용된 제어 알고리즘의 타당성과 시작품의 성능을 검증하였다. 시작품의 성능을 검증하기 위하여 실험 시스템을 구성하였으며 전압 품질 문제를 구현하기 위하여 RTDS와 전력 증폭기로 구성된 전원 장치를 이용하였으며 전류 문제를 구현하기 위하여 비선형 부하를 이용하였다. 실험 시스템을 이용하여 비선형 전류 보상결과를 통해 고조파 보상 능력을 검증하였으며 전원 전류의 위상 변화를 통해 역률 보상능력을 검증하였다. 전압품질 보상능력 검증을 위하여 임의로 순간전압 상승과 하강에 대한 실험을 실행하여 보상 전압과 보상 시간을 검토하였으며 전원에 플리커를 발생시켜 보상 결과를 살펴보았다. 제시된 실험 결과를 통해 제작된 UPQC 시작품의 제어 알고리즘은 구현이 가능하며 설계에 문제가 없음을 알 수 있었으나 성능의 개선을 위해서는 제어 알고리즘의 보완과 이득의 조정이 필요하였다. 실험 및 시작품에 적용되어 검증된 연구 결과는 FACTS 및 분산전원 시스템의 전력 변환 장치 제어에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1]. 한국전기연구소, "Custom Power 기기 개발 사업", 최종보고서, 과학기술부, 2000년 10월
- [2]. 김지원, 전영환, 전진홍, 오태규, 박동우, "Dynamic Voltage Restorer Prototype 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 50권 3호, pp. 140-145, 2001년 3월.
- [3]. 한국전기연구소, "21C 고신뢰 고품질 신체전계통 구축에 관한 연구", 분기보고서, 한국전력 전력연구원, 2000년 12월
- [4]. 김희중 외, "순간정전에 대한 보상능력을 갖는 UPQC의 성능해석", 대한전기학회 논문지, 제52권, 제5호, pp279-286, 2003.5.
- [5]. N.G. Hingorani, "Introducing Custom Power", IEEE Spectrum, June 1995, pp41-48
- [6]. M.Aredes, K.Heumann, E.H.Watanabe, "An universal active power line conditioner", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.2, Apr 1998, pp545-551
- [7]. H.Fujita, H.Akagi, "The unified power quality conditioner: the integration of series and shunt active filter", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.2, Mar 1998, pp315-322
- [8]. Yunping Chen, Xiaoming Zha and Jin Wang, etc. "Unified Power Quality Conditioner(UPQC) : The Theory, Modeling, and Application", Power System Technology, 2000 proceedings. Power Con 2000, International Conference on 2000, Vol.3, pp1329-1333
- [9]. 한국전기연구소, "FACTS 엔지니어링 기술분석", 1 단계 최종보고서, 과학기술부, 1998년 10월
- [10]. 한국전기연구소, "1MVA 급 통합전력제어기 개발", 최종보고서, 과학기술부, 1999년 10월
- [11]. Narain G. Hingorani and Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems(Book)", IEEE Press, 2000