

### 3상 직병렬보상형 전력품질 보상장치(UPQC)의 제어 알고리즘 설계

전진홍, 김태진, 류홍제, 김광수  
한국전기연구원 산업전기연구단

#### The Design of Control Algorithm for Unified Power Quality Compensator

JEON Jin-Hong, KIM Tae-Jin, RYOO Hong-Je, KIM Kwang-Su  
Korea Electro-technology Research Institute, Industry Applications Research Laboratory

**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(Unified Power Quality Compensator of 45kVA which compensates power factor and voltage sag, interruption. it is very frequently occurred power quality problems<sup>[1-3]</sup>. 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 the design and control algorithm for 45kVA UPQC system. As a control algorithm is implemented by digital controller, we consider sample-and-hold of signals. In this simulation, we use EMTDC/PSCAD V3.0 software which can simulate instantaneous voltage and current.

#### 1. 서 론

최근들어 국내에서도 전기품질 문제의 의해 발생하는 피해사태가 발표되고, 이에 따르는 손해배상을 한전에 요구하는 등 전기품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 따라서, 수용가들 또한 종래의 획일적인 품질로 전력을 공급받아야 했던 수동적인 입장에서 자신에게 필요한 품질로 전력을 공급받기 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>. 따라서, 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 시작품 개발 연구의 일부로서 수행 중인 UPQC 제어 알고리즘의 설계와 검증에 대한 내용을 소개하고자 한다. 본 논문에서 제시하고자하는 제어 알고리즘은 전력품질 문제 중 발생빈도와 영향이 가장 큰 순간전압강하와 순시정전<sup>[1-3]</sup>을 보상하고, 동시에 역률을 제어할 수 있도록 설계하였으며, 제어 알고리즘의 유용성과 전체 UPQC 시스템의 성능검증을 위하여 계통해석에 유용한 EMTDC/PSCAD를 이용한 모의실험 결과를 제시하고자 한다. 제시하고자

는 제어 알고리즘은 병렬 인버터 부분에서는 전류품질 문제를 보상하고 직렬 인버터 부분에서는 전압품질 문제를 보상할 수 있도록 설계하였으며 각각의 제어 알고리즘은 독립적으로 동작할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 모의 실험이 실제 구현될 시스템과 유사한 동작을 할 수 있도록 실제 제작될 시작품의 하드웨어 구성을 소자 수준에서 상세하게 모델링 하였으며, 제어 알고리즘의 경우도 실제 제어 알고리즘이 수행되는 샘플링 시간을 고려하여 디지털 제어 알고리즘의 특성이 반영될 수 있도록 설계하였다. 본 연구에서 제시될 연구 결과는 향후 FACTS(Flexible AC Transmission System)와 분산전원의 계통연계모듈의 제어 알고리즘 구현에도 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 UPQC의 개요

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

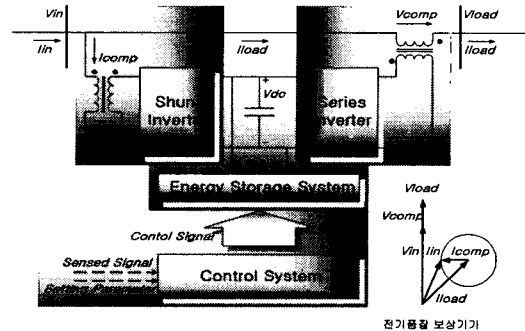


그림 1. 전기품질 보상기(UPQC)의 구조

UPQC 시스템은 DC 링크 캐패시터 뱅크의 오른쪽의 직렬 인버터는 직렬삽입 변압기를 통해 배전선로에 연결되어 출력전압이 직렬삽입 변압기를 통해 배전선로 직렬로 삽입될 수 있으며, DC 링크 캐패시터 뱅크의 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 선도과 출력전압의 벡터 다이어그램과 dq 변환관계 역시 참고문헌[10]에 제시되어 있으며 본 논문에서는 지면관계상 생략한다.

모의를 위한 UPQC는 3상 45kVA 시스템으로 그 설계 사양을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. UPQC 시스템 사양

항목	사양
동작 주파수	60Hz
System Base Voltage	380V
System Base Power	45.0 KVA
직렬 인버터	12kHz, PWM 구동
LC Filter	1.5 mH, 10uF
DC Link	2200uF, 900 WV
병렬 변압기	단상 15kVA 3모듈 $\Delta$ -Y
직렬 변압기	단상 15kVA 3모듈 1차측 $\Delta$
최대 직렬 삽입 전압	190V

## 2.2 시뮬레이션

### 2.2.1 모의 계통 구성

UPQC의 제어 알고리즘의 검증은 모의 계통은 3상 380V의 일반 배전 계통을 기준으로 배전전원과 45kVA의 부하가 연결되어 있고 그 사이에 UPQC가 삽입되어 부하에 인가되는 전압을 일정하게 유지하며 전원의 역률을 보상하는 기능을 가지는 것으로 가정하였다. 전원의 역률을 보상하는 효과를 보이기 위해 부하는 악성 부하로 가정하여 그 역률을 0.5로 가정하였다.

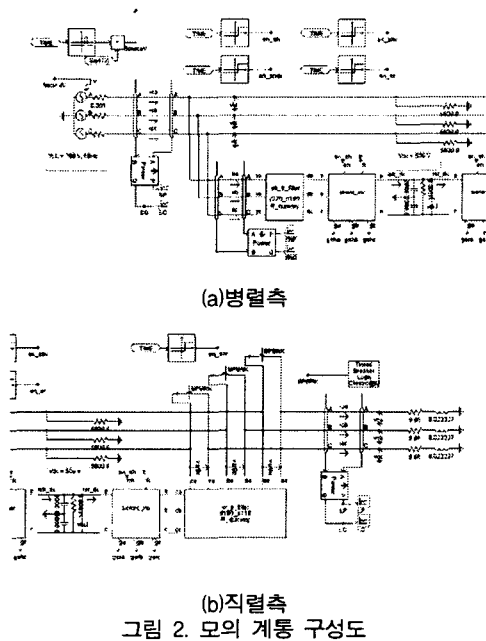


그림 2. 모의 계통 구성도

앞에서의 가정으로 제어 알고리즘의 성능 검증을 위한 전체 모의 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 UPQC 시스템은 전압의 크기를 임의로 조정 가능한 3상 380V 전원과 45kVA, 역률 0.5를 가지는 부하의 사이에 삽입되어 있다. 순시전압 강하(voltage sag)를 모의하기 위해서 전원은 그 크기가 제어 가능한 전원을 이용하였으며 모의 시작 후 1.2초와 1.4초 사이의 0.2초 동안 전압을 190V(0.5pu)로 강하하였다. 시뮬레이션에 사용된 시스템의 파라미터는 표 1에 나타난 사양을 기준으로 하여 계산하였다. 시뮬레이션에 사용된 각 부분의 상세 구성도는 지면 관계상 생략하며 이는 참고문헌[9,10]에 상세히 나타내었다.

병렬부분 제어 알고리즘은 전원 역률 제어, DC 링크

전압제어, 병렬인버터 전류제어 부분으로 구성되어 있으며 상세한 블록선도는 참고문헌[9,10]을 참고하길 바라며 시뮬레이션에 사용된 제어기는 그림 3과 같다. 직렬 부분 제어 알고리즘은 부하전압 보상, 직렬삽입 변압기 전압 보상 부분으로 구성되어 있으며 상세한 블록선도는 참고문헌[9,10]을 참고하길 바라며 모의에 사용된 제어 알고리즘은 그림 4와 같다.

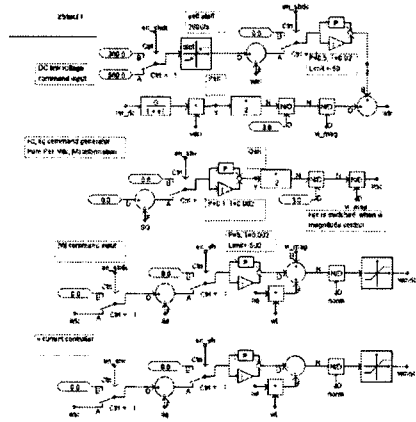


그림 3. 병렬 부분 제어기

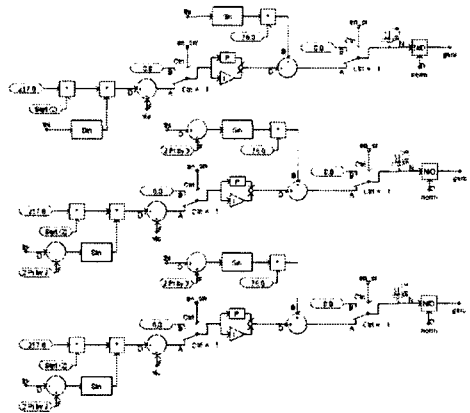


그림 4. 직렬 부분 제어기

### 2.2.2 모의 시나리오

UPQC의 제어기능을 검증하기 위하여 UPQC가 투입되어 과도상태를 거쳐 배전계통의 품질을 보상하기 위한 전과정을 모의하였다. 모의를 위하여 모의 계통도에 나타난 것과 같이 UPQC는 임의의 배전선로 중간에 삽입된 것으로 가정하였으며 배전계통에는 부하에 의한 초기 조류가 형성되어 있다. 전체 시스템의 초기화를 위해 일정시간동안은 UPQC를 동작시키지 않았으며, UPQC 시스템 자체의 초기화를 위해 병렬부분을 먼저 계통에 투입하여 동기운전을 실행하였다. 동기운전이 안정화된 후 DC 링크의 전압을 확립하고 그 후에 무효전력을 제어하여 전원의 역률을 보상하였다. 병렬 부분이 정상 동작된 후 직렬 부분의 초기화를 위해 동기운전을 하였으며 동기운전이 안정화된 후 전원의 전압을 임의로 순간 강하 시켜 그 결과를 살펴보았다. 앞에서 설명한 시뮬레이션 시나리오를 간략히 표 2로 나타내었다.

표 2. 모의 시나리오

시간(초)	제어 동작	
	병렬 시스템	직렬 시스템
0.0~0.05	시스템 초기화	동작 없음
0.05~0.2	동기운전을 위한 영전류 제어	동작 없음
0.2~0.4	DC링크 전압제어(500V)	동작 없음
0.4~0.8	DC링크 전압제어(500V) 전원 역률 제어(역률 1.0)	동작 없음
0.8~1.0	DC링크 전압제어(500V) 전원 역률 제어(역률 1.0)	동기운전을 위한 영전압 제어
1.0~1.2	DC링크 전압제어(500V) 전원 역률 제어(역률 1.0)	부하전압 제어
1.2~1.4	DC링크 전압제어(500V) 전원 역률 제어(역률 1.0)	부하전압 제어 (순간전압강하보상)
1.4~2.0	DC링크 전압제어(500V) 전원 역률 제어(역률 1.0)	부하전압 제어

### 2.3 모의 결과

표 2의 시나리오에 의한 UPQC 모의 결과는 그림 5에서 그림7과 같다. 그림 5에서는 병렬부분의 제어가 정확하게 이루어지고 있음을 나타내었고, 그림 6에서는 직렬부분의 제어 결과인 전압 보상을 나타내었다. 또한 UPQC의 제어 동작에 따른 전체 시스템의 전압과 전류의 변화를 그림 7에 나타내었다.

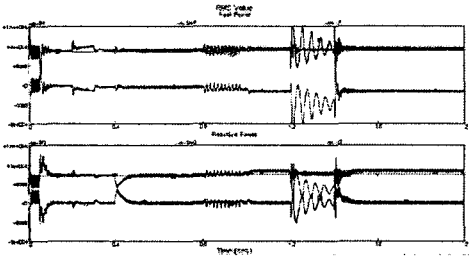


그림 5. 병렬제어에 의한 계통 무효전력 변화

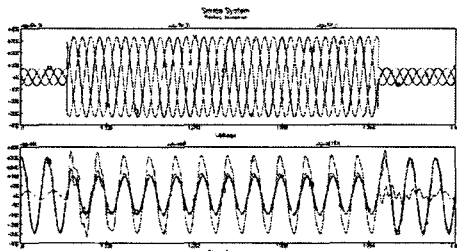


그림 6. 직렬제어의 의한 부하전압 보상 결과

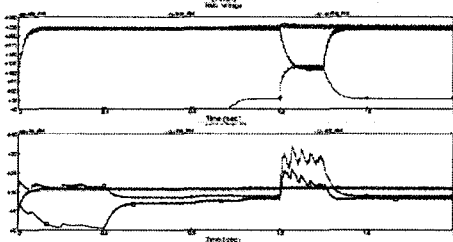


그림 7. 계통의 전압·전류 변화

모의 실험 결과에 나타난 것과 같이 UPQC의 전원 역률 보상의 결과로 전원에서 유입되는 무효전력은 정상

상태에서 0.0kVAR로 일정하게 유지되고 있으며 DC 링크 전압도 일정하게 유지되었다. 또한, 전원전압의 순간강하에도 부하에 인가되고 있는 전압은 거의 일정하게 정전압을 유지하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 전원전압의 순간전압강하 발생시 무효전력의 동요와 DC 링크 전압의 동요는 제어기의 이득설정의 문제로 제어기 이득의 조정 및 제어 알고리즘의 개선이 필요한 부분으로 생각되어 진다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 45kVA급 UPQC 시작품 개발 연구로 진행되고 있는 UPQC 시뮬레이터의 기본 구조, 사양, 제어에 대하여 검토하고 이를 EMTDC에 적용해 설계와 제어의 타당성을 검증해 보았다. 설계된 UPQC의 제어 알고리즘의 성능 검증을 위해 UPQC 시작품의 EMTDC 모델을 작성하였으며 실제 제어기 구현과 유사하도록 샘플링 타임 등을 모두 실제 시작품과 유사하게 설정하였다. UPQC 시작품의 동작은 설정된 모의 시나리오를 기준으로 동작시켜 병렬 부분의 제어 동작인 전원역률 보상과 DC 링크 전압 제어에 대한 결과를 살펴 보았으며, 직렬 부분의 제어 동작인 부하 전압의 제어도 살펴보았다. 위의 모의 결과를 통해 설계된 UPQC의 제어 알고리즘은 구현이 가능하며 실제로 문제가 없음을 알 수 있었으나 제어 알고리즘의 보완과 이득의 조정이 필요하였다. 향후 전압, 전류의 불평형 및 고조파 보상을 위한 제어 알고리즘에 대하여 연구가 진행될 예정이다 모의 실험에 의해 검증된 제어 알고리즘 실제 시작품에 적용 시키는 연구가 진행 중에 있다. 모의 실험 및 시작품에 적용되어 검증된 연구 결과는 FACTS 및 분산전원 시스템의 전력변환 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, 전진용, 오태규, 박동욱, "Dynamic Voltage Restorer Prototype 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 50권 3호, pp. 140-145, 2001년 3월
- [3]. 한국전기연구소, "21C 고신뢰 고품질 신배전계통 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