

150kVA급 전기품질 보상기 제어 알고리즘 설계

전진홍*, 김지원*, 전영환*, 김호웅**

*한국전기연구원 FACTS&PQ 연구 그룹, **한국전기연구원 전력연구단

The Design of control algorithm for 150kVA power quality compensator

Jin-Hong Jeon*, Ji-Won Kim*, Yeung-Han Chun*, Ho-Young Kim**

Korea Electrotechnology Research Institute *FACTS&PQ Group, **Electric Power Reseach Lab.

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 power quality compensator of 150kVA which compensates power factor and voltage sag, interruption. it is very frequently occurred power quality problems[1,2]. As a series and shunt compensator, power quality compensator 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 of power quality compensator. 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[1,2]. 이를 위해 발생빈도와 영향이 가장 큰 순간전압강하와 순시정전을 보상하고, 동시에 역률을 제어할 수 있는 150kVA급 prototype 전기품질 보상기기를 개발하여 그 유용성을 검증하는 연구를 수행하고 있다[3]. 본 논문에서는 150kVA급의 전기품질 보상기기를 설계하고 제작하기에 앞서 20kVA급의 보상장치를 이용하여 주요 기능을 검증하는 연구의 일부분으로 주요 제어 알고리즘을 EMTDC를 이용하여 모의하고 그 결과를 검증하고자 한다.

본 연구에서 검토하고자 하는 전기품질 보상기기는 직병렬 구조를 가지는 보상기기로 두 개의 인버터가 하나의 DC Link를 공유하는 구조를 가지고 있으며, 병렬 부분은 전류 품질을 보상하고 직렬 부분은 전압 품질을 보상할 수 있도록 하였다. 또한, 모의 실험이 실제 구현 될 시스템과 유사한 결과를 반영할 수 있도록 상세히 모의하였으며 제어 알고리즘의 경우도 디지털 제어기에서 구현됨을 충분히 반영할 수 있도록 하였다. 모의 실험을

위해 순시전압, 전류에 대한 해석이 가능한 EMTDC를 이용하였다.

2. 본 론

2.1 전기품질 보상기기의 개요

전기품질 보상기기 시스템은 2개의 전압원 인버터가 DC 링크 캐패시터 बैं크를 공유해서 연결되어 있는 구조로 되어 있으며 기본 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

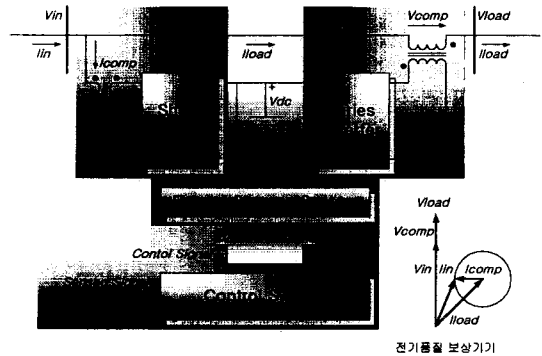


그림 1. 전기품질 보상기기의 구조

전기품질 보상기기 시스템은 DC 링크 캐패시터 बैं크의 오른쪽의 직렬 인버터(Series Inverter)는 직렬삼상 변압기(Series Transformer)를 통해 배전선로에 연결되어 출력전압이 직렬삼상 변압기를 통해 배전선로 직렬로 삽입될 수 있으며, DC 링크 캐패시터 बैं크의 왼쪽의 병렬 인버터(Shunt Inverter)는 병렬 변압기(Shunt Transformer)를 통해 배전선로에 병렬로 연결되어 있는 구조를 가진다. 이와 같은 구성상의 특징으로 배전선로의 전류 품질과 전압 품질을 독립적으로 제어하는 것이 가능하다[3,4].

전기품질 보상기기의 각 부분의 상세한 제어 기능과 제어를 위한 모형, 제어 알고리즘의 상세한 유도과정은 참고문헌[5]에 자세히 설명되어 있다. 또한, 전기품질 보상기기의 직렬부분과 병렬부분의 제어 알고리즘의 블록 선도와 출력전압의 벡터 다이어그램과 dq 변환관계 역시 참고문헌[6]에 제시되어 있으며 본 논문에서는 지면관계상 생략한다.

2.2 전기품질 보상기기 구성 및 사양

모의를 위한 전기품질 보상기기는 150kVA 전기품질 보상기기에 적용을 목적으로 하여 이를 기준으로 시뮬레이터급에 적합한 20kVA급으로 설계하였으며 연구에 적합할 수 있도록 여러 가지 실험이 가능하도록 설계되어 있다. 설계 사양을 정리하면 표 1과 같다.

전기품질 보상기기 시뮬레이터의 각 모듈의 세부 설계

방법은 참고문헌[5,6]을 참고하기 바란다. 전기품질 보상기 시뮬레이터의 전체 구성을 간략히 나타내면 그림 2와 같다.

표 1. 전기품질 보상기 시뮬레이터 사양

항목	사양
동작 주파수	60Hz
System Base Voltage	380V
System Base Power	10.0 KVA
직렬 인버터	3kHz, PWM 구동
LC Filter	4.9 mH, 40uF
DC Link	2200uF, 900 WV
병렬 변압기	단상 5kVA 3모듈 Δ -Y
직렬 변압기	단상 5kVA 3모듈 1차측 Δ
최대 직렬 삽입 전압	190V

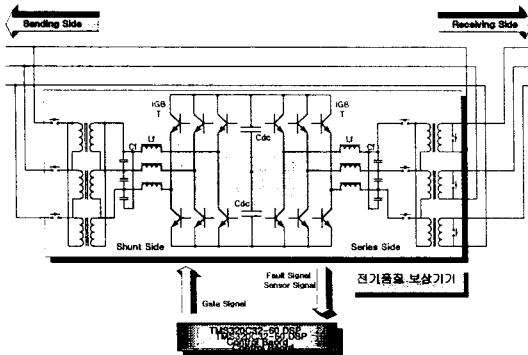


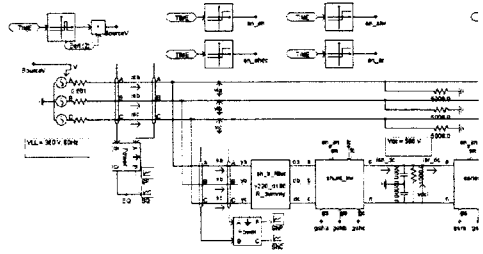
그림 2. 전기품질 보상기 시뮬레이터 구성도

2.3 시뮬레이션

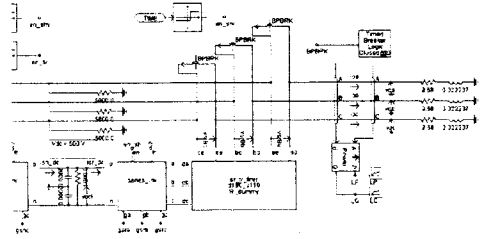
2.3.1 모의 계통 구성

전기품질 보상기의 제어 알고리즘의 검증은 위한 모의 계통은 3상 380V의 일반 배전 계통을 기준으로 배전전원과 10kVA의 부하가 연결되어 있고 그 사이에 전기품질 보상기가 삽입되어 부하에 인가되는 전압을 일정하게 유지하며 전원에 역률을 보상하는 기능을 가지는 것으로 가정하였다. 전원의 역률을 보상하는 효과를 보이기 위해 부하는 약성 부하로 가정하여 그 역률을 0.5로 가정하였다. 앞에서의 가정으로 제어 알고리즘의 성능 검증을 위한 전체 모의 시스템의 구성은 그림 3과 같다. 그림 3에 나타나 있는 바와 같이 전기품질 보상기 시스템은 전압의 크기를 임의로 조정 가능한 3상 380V 전원과 10kVA, 역률 0.5를 가지는 부하의 사이에 삽입되어 있다. 순시전압강하(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[5,6]에 상세히 나타내었다.

병렬부분 제어 알고리즘은 전원 역률 제어, DC 링크 전압제어, 병렬인버터 전류제어 부분으로 구성되어 있으며 상세한 블록선도는 참고문헌[5]을 참고하길 바라며 시뮬레이션에 사용된 제어기는 그림 4와 같다. 직렬부분 제어 알고리즘은 부하전압 보상, 직렬삽입 변압기 전압 보상 부분으로 구성되어 있으며 상세한 블록선도는 참고문헌[5,6]을 참고하길 바라며 모의에 사용된 제어 알고리즘은 그림 5와 같다.



(a) 병렬측



(b) 직렬측

그림 3. 모의 계통 구성도

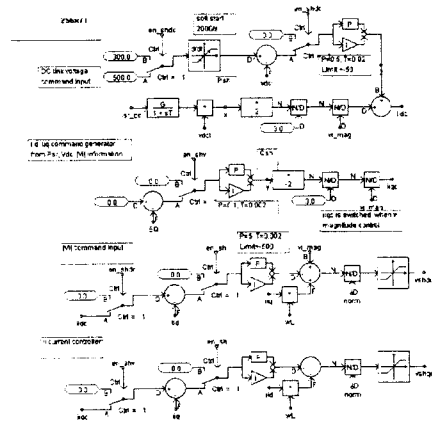


그림 4. 병렬 부분 제어기

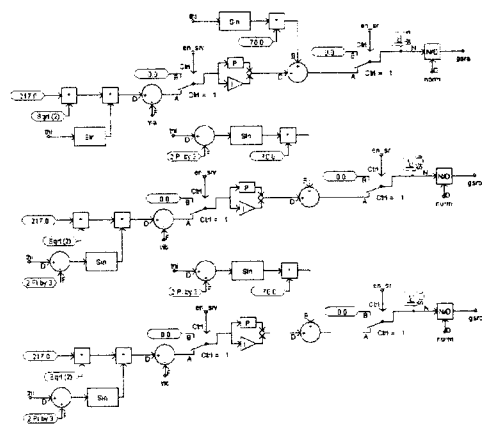


그림 5. 직렬 부분 제어기

2.3.2 모의 시나리오

전기품질 보상기기의 제어기능을 검증하기 위하여 전기품질 보상기기가 투입되어 과도상태를 거쳐 배전시스템의 품질을 보상하기 위한 전과정을 모의하였다. 모의를 위하여 모의 계통도에 나타난 것과 같이 전기품질 보상기기는 임의의 배전선로 중간에 삽입된 것으로 가정하였으며 배전계통에는 부하에 의한 초기 조류가 형성되어 있다. 전체 시스템의 초기화를 위해 일정시간동안은 전기품질 보상기기를 동작시키지 않았으며, 전기품질 보상기기 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 임의의 순간강하 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

2.4 결과

표 2의 시나리오에 의한 전기품질 보상기기 모의 결과는 그림 6에서 그림8과 같다. 그림 6에서는 병렬부분의 제어가 정확하게 이루어지고 있음을 나타내었고, 그림 7에서는 직렬부분의 제어 결과인 전압 보상을 나타내었다. 또한 전기품질 보상기기의 제어 동작에 따른 전체 시스템의 전압과 전류의 변화를 그림 8에 나타내었다. 모의 실험 결과에 나타난 것과 같이 전기품질 보상기기의 전원 역률 보상의 결과로 전원역률에서 유입되는 무효전력은 정상상태에서 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 링크전압의 동요는 제어기의 이득설정의 문제로 제어기 이득의 조정 및 제어 알고리즘의 개선이 필요한 부분으로 생각되어 진다.

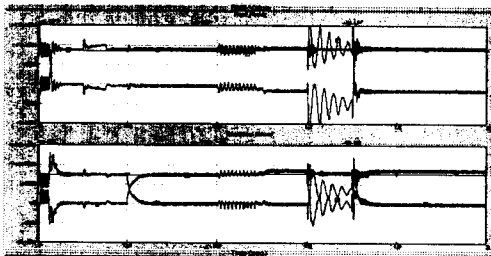


그림 6. 병렬제어에 의한 계통 무효전력 변화

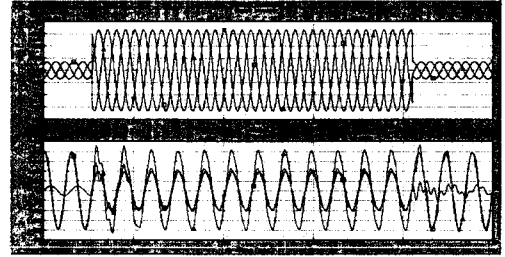


그림 7. 직렬제어의 의한 부하전압 보상 결과

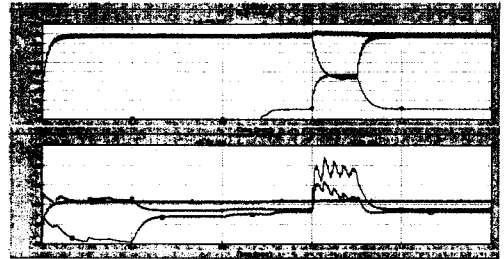


그림 8. 계통의 전압·전류 변화

3. 결 론

본 논문에서는 150kVA급 전기품질 보상기기 개발의 사전 연구로 진행되고 있는 전기품질 보상기기 시뮬레이터의 기본 구조, 사양, 제어에 대하여 검토하고 이를 EMTDC에 적용해 설계와 제어의 타당성을 검증해 보았다. 설계된 전기품질 보상기기의 제어 알고리즘의 성능 검증에 의해 전기품질 보상기기 시뮬레이터의 EMTDC 모델을 작성하였으며 실제 제어기 구현과 유사하도록 샘플링 타임 등을 모두 실제 시뮬레이터와 유사하게 설정하였다. 전기품질 보상기기 시뮬레이터의 동작은 설정된 모의 시나리오를 기준으로 동작시켜 병렬부분의 제어 동작인 전원역률 보상과 DC 링크 전압 제어에 대한 결과를 살펴보았으며, 직렬 부분의 제어 동작인 부하 전압의 제어도 살펴보았다. 위의 모의 결과를 통해 설계된 전기품질 보상기기의 제어 알고리즘은 구현이 가능하며 설계에 문제가 없음을 알 수 있었으나 제어 알고리즘의 보완과 이득의 조정이 필요하였다. 향후 연구에서는 전기품질 보상기기 시스템의 실제 적용 연구와 정전시 에너지 저장장치를 이용한 전원보상 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1]. 한국전기연구소, "Custom Power 기기 개발 사업", 최종보고서, 과학기술부, 2000년 10월
- [2]. 김지원, 전영환, 전진홍, 오택규, 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]. Narain G. Hingorani and Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems(Book)", IEEE Press, 2000
- [5]. 한국전기연구소, "FACTS 엔지니어링 기술분석", 1 단계 최종보고서, 과학기술부, 1998년 10월
- [6]. 한국전기연구소, "1MVA 급 통합전력제어기 개발", 최종보고서, 과학기술부, 1999년 10월