

통합 전력품질 제어기의 과전류 보호방법에 관한 연구

채범석, 이우철, 이택기*, 현동석
 한양대학교, *한경대학교

A Study on Over Current Protection Method of Unified Power Quality Conditioners

Beom-Seok Chae, Woo-Cheol Lee, Taeck-Ki Lee*, Dong-Seok Hyun
 Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ.
 Dept. of Electrical Engineering, Hankyong Univ.*

ABSTRACT

A protection scheme for Unified Power Quality Conditioner (UPQC) is presented and analyzed in this paper. The proposed UPQC has the series active power filter operated as a high impedance $k(\Omega)$ to the fundamentals when short-circuit faults occur in the power distribution system, and three control strategies are proposed in this paper. The first is the method by detecting the fundamental source current through the p-q theory,^[1] the second is the method by detecting the fundamental component of load current in Synchronous Reference Frame(SRF) and the third is the method by detecting the input voltage. When the short-circuit fault occur in the power distribution system, the proposed scheme protects the UPQC without additional protection circuits. The validity of proposed protection scheme is investigated through simulation results.

직렬로 연결되어 Current Transformer로서 동작하기 때문에 2차측의 개방운전이 불가능함에 기인한다. 이 때문에 배전 시스템 내에서 단락이 발생하여 모선에 과전류가 유기될 경우 직렬보상기의 인버터를 변압기의 2차측에서 분리시키는 것이 불가능하다.^[3] 그러므로 일반적인 Circuit Breaker나 Power Fuse를 이용하여 인버터를 보호하는 것이 불가능하고 모선의 사고가 제거되거나 인버터가 절연될 때까지 2차측의 전류와 전압의 크기를 제한하는 새로운 보호 방법을 필요로 한다.

본 논문에서는 이러한 통합 전력품질 제어기의 새로운 과전류 보호방법에 대하여 다루고 있다. 이는 직렬 보상기를 전원전류의 기본파 성분에 대해 큰 임피던스를 갖도록 제어하는 방법, 부하전류의 기본파 성분에 대해 큰 임피던스를 갖도록 제어하는 방법, 그리고 전원전압의 역 전압을 직렬능동필터의 출력으로 갖도록 제어하는 방법 등으로 이루어지며 이는 기존의 통합 전력품질 제어기의 보호 방법과 비교하여 기타 부가회로를 필요로 하지 않으며 실제 회로를 구성하기 쉽다는 장점을 갖는다.

1. 서 론

기존의 일반적인 통합 전력품질 제어기(Unified Power Quality Conditioners)는 입력전압의 플리커/불평형 보상, 무효전력 보상, 역상분 전류 보상, 고조파 저감, dc-link 전압제어, 등의 기능을 수행할 수 있다.^[2] 그 결과 통합 전력품질 제어기는 대용량의 부하로 인한 문제점들과 전력품질에 민감한 부하의 문제들을 해결할 수 있는 효과적인 방안의 하나로 주목받고 있다. 하지만 통합 전력품질 제어기는 과전류로부터 특별한 보호방법을 필요로 한다. 이는 직렬보상기의 변압기 1차측이 전원라인과

2. 일반적인 통합 전력품질 제어기

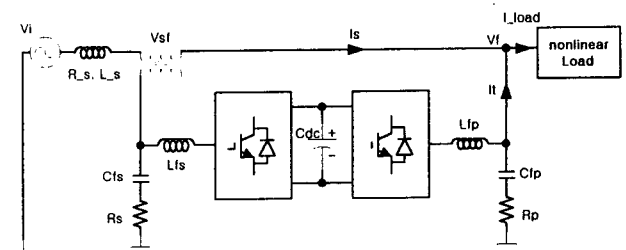


그림 1 통합 전력품질 제어기의 구성도
 Fig. 1 The Configuration of Conventional Unified Power Quality Conditioner

그림 1은 직렬 보상기와 병렬 보상기를 갖는 일반적인 통합 전력품질 제어기의 구성을 보여준다.^[4]

직렬 보상기는 Point of Common Coupling (PCC)의 일정전압유지기능과 함께 전압 플리커/불평형 보상의 기능, 전원 고조파성분 보상 기능을 갖으며 하이브리드형 능동필터에서의 경우 전원단과 부하단의 고조파 절연의 기능을 수행할 수 있다. 또한 병렬보상기는 부하전류 고조파 보상, 부하측의 무효전력, 역상분 전류 보상, dc-link 전압 제어 기능을 수행하며 그림 2는 일반적인 통합 전력품질 제어기의 제어블럭도 이다.

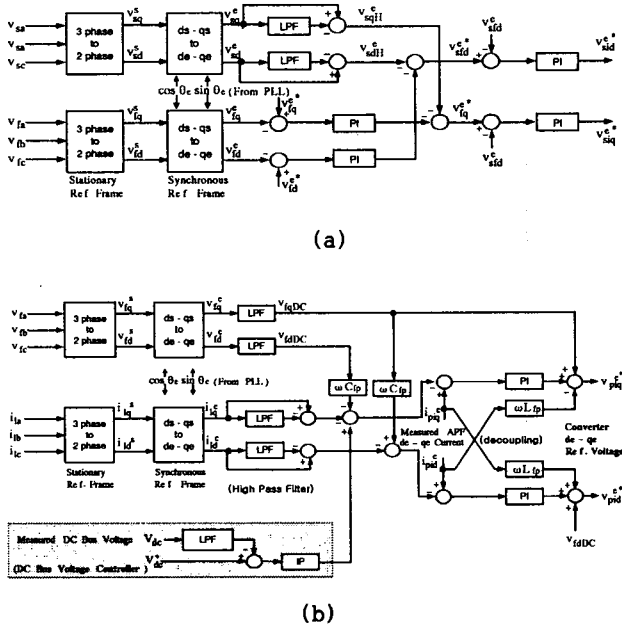


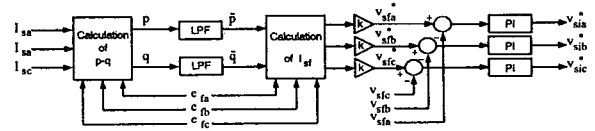
그림 2 직렬 보상기의 제어블럭 구성도
 (a) 직렬보상기의 제어 블록 구성도
 (b) 병렬 보상기의 제어 블록 구성도
 Fig. 2 Block diagram of the conventional UPQC
 (a) Block diagram for series compensator
 (b) Block diagram for parallel compensator

3. 제안된 새로운 보호방법

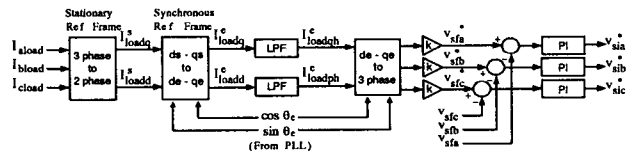
본 논문에서 제안된 통합 전력품질 제어기의 과전류 보호방법은 직렬능동필터와 병렬수동필터의 결합형태인 하이브리드 능동필터에서의 직렬 능동필터 동작과 유사한 방법을 통해 구현된다.

하이브리드형 능동필터의 경우 직렬능동필터가 기본과 전류에 대하여 영의 임피던스를 갖고 고조파 전류에 대해서는 $k(\Omega)$ 의 임피던스를 갖도록 제어하여 부하 고조파 전류를 보상한다.^[5] 하지만 배전 계통의 사고에 의해 통합 전력품질 제어기의 보호가 필요한 경우 직렬보상기를 기본과 전류에 대하여 $k(\Omega)$ 의 임피던스를 갖도록 제어하며 이때 병

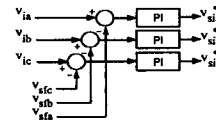
렬보상기는 dc-link 전압제어 기능을 제외한 부하 고조파 전류 보상 기능을 정상적으로 수행할 수 있다. 그림 3은 제안된 통합전력품질제어기의 사고시 보호방법을 위한 제어 블록도로서 직렬보상기의 지령치를 출력으로 갖으며 이는 3가지 방법으로 설명될 수 있다.



(a) Method 1 : Detecting fundamental component of source current by applying the p-q theory
 e_{fa}, e_{fb}, e_{fc} : fundamentals of v_{fa}, v_{fb}, v_{fc}

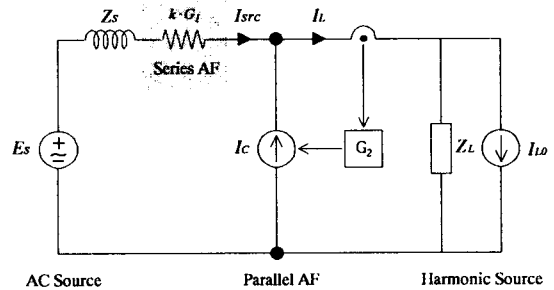


(b) Method 2 : Filtering a fundamental component of load current in Synchronous Reference Frame



(c) Method 3 : Sensing of input voltage
 그림 3 제안된 보호방법에서 지령치 선정 기법
 Fig. 3 The methods of producing reference value in proposed protection scheme

3.1 Method 1 특성분석



Z_S : the source impedance,
 I_{L0} : the equivalent harmonic current source
 Z_L : the equivalent impedance on the load side
 그림 4 전원전류의 기본과 성분을 이용한 과전류 보호방법

Fig. 4 The propose protection scheme using the source current fundamental

G_1 은 통합 전력품질 제어기를 구성하는 직렬보상기의 등가 전달함수로서 고조파 성분과 기본과

성분의 검출회로를 포함한다. G_1 은 고조파 성분의 제거 기능을 수행한다. 즉 기본과 성분에 대하여 $|G_{1f}|=1$, 고조파 성분에 대하여 $|G_{1h}|=0$ 의 값을 갖는다. G_2 는 병렬 보상기의 등가 전달함수로서 기본과 성분에 대하여 0에 가까운 값을 갖고 고조파 성분에 대하여 1에 근접한 값을 갖는다. 즉 $|G_{2f}|=0$, $|G_{2h}|=1$ 이다.^[6] 여기서 k 는 Ω 단위를 갖는 이득 값이다.

그림 4로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$I_c = G I_L \quad (1)$$

$$I_s = \frac{Z_L}{Z_s + G_1 \cdot K + \frac{Z_L}{1-G_2}} I_{LO} + \frac{V_s}{Z_s + G_1 \cdot K + \frac{Z_L}{1-G_2}} \quad (2)$$

전원전압 V_s 가 정현적 이라고 가정하면

$$\frac{I_s}{I_{LO}} = \frac{Z_L}{Z_s + G_1 \cdot K + \frac{Z_L}{1-G_2}} \quad (3)$$

고조파 성분에 대한 전달함수를 구하면

$$\frac{I_{sh}}{I_{LOh}} = \frac{Z_L}{Z_s + \frac{Z_L}{1-G_2}} \cong 0 \quad (4)$$

식 (4)는 전원전류는 부하 고조파 전류에 영향을 받지 않음을 증명한다.

기본과 성분에 대한 전달함수를 구하면

$$I_{sf} = \frac{Z_L}{Z_s + G_1 \cdot K + Z_L} I_{LOf} + \frac{V_{sf}}{Z_s + G_1 \cdot K + Z_L} \quad (5)$$

K값이 무한하다고 가정하면

$$I_{sf} = 0 \quad (6)$$

식 (6)은 제어이득 K값을 이용하여 전원전류의 기본과 성분이 제한되어질 수 있음을 보여준다.

3.2 Method 2 특성분석

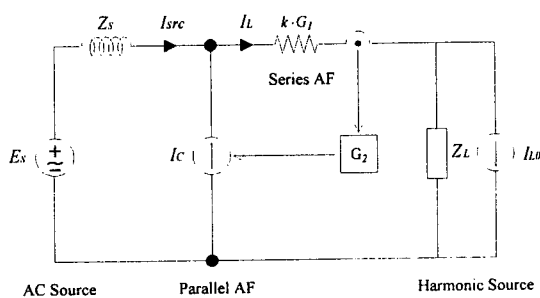


그림 5 부하전류의 기본과 성분을 이용한 과전류 보호방법

Fig. 5 The propose protection scheme using the load current fundamental

Method 1에서와 같은 방법으로 그림 5로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$I_s = \frac{Z_L}{Z_s + \frac{G_1 \cdot K + Z_L}{1-G_2}} I_{LO} + \frac{V_s}{Z_s + \frac{G_1 \cdot K + Z_L}{1-G_2}} \quad (7)$$

전원전압 V_s 가 정현적 이라고 가정하면

$$\frac{I_s}{I_{LO}} = \frac{Z_L}{Z_s + \frac{G_1 \cdot K + Z_L}{1-G_2}} \quad (8)$$

식(7)과 식(8)을 3.1절 에서와 동일한 방법으로 정리하면 결과는 식(6), 식(4)와 각각 일치하므로 Method 1과 Method 2가 동일한 특성을 갖음을 알 수 있다.

일반적인 통합 전력품질 제어기에서 부하 전류의 검출은 병렬 보상기에 의한 부하 고조파 전류를 보상을 위해 반드시 필요하다. 그러므로 앞서 설명한 두가지 방법 중 과전류 보호의 실제 구현 시 3.2절에서 설명한 Method 2 방법이 3.1절의 Method 1 방법 보다 더 효율적이다.

3.3 Method 3 특성분석

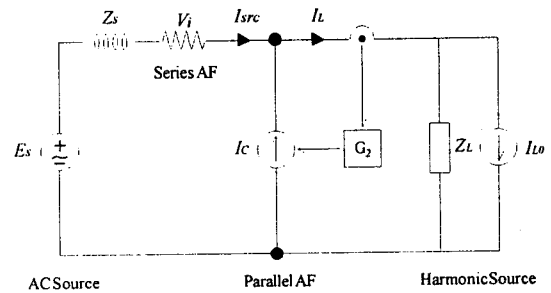


그림 6 입력전압을 이용한 과전류 보호방법

Fig. 6 The propose protection scheme using input voltage

Method 3 에서 직렬보상기는 입력전압의 역 전압을 출력으로 갖음으로서 앞서 설명한 두 가지 방법과 동일한 결과의 과 전류 보호동작을 수행할 수 있다.

4. 제안된 보호방법을 하이브리드 능동필터에 적용하는 경우

제안한 과전류 보호 방법은 하이브리드형 능동필터에도 적용이 가능하다. 그러나 앞서 설명한 방법들은 과전류 보호 동작시 직렬능동필터의 고조파에 대한 임피던스를 고려하지 않았기 때문에 수동필터만을 사용할 경우에 야기될 수 있는 전원단과 수동

필터 단의 병렬 공진의 위험성을 갖는다.

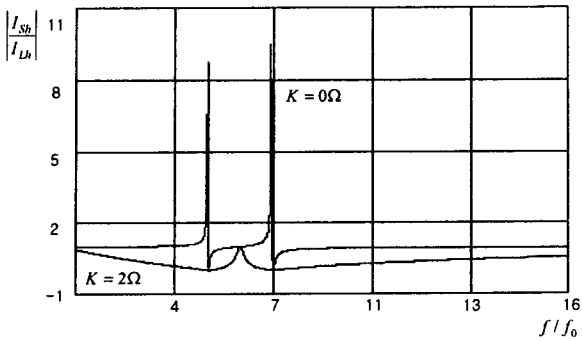


그림 7 일반적인 하이브리드형 능동필터의 부하 고조파 전류의 필터특성
Fig. 7 Filter characteristic for load harmonic current in conventional Hybrid Active Filter

그림 7은 직렬 능동필터의 고조파에 대한 임피던스가 0일 경우($k=0$), 2일 경우($k=2$)를 각각 나타낸다. 즉 $k=0$ 의 경우엔 병렬 공진이 발생하지만 $k=2$ 의 경우 병렬 공진이 발생하지 않음을 볼 수 있다. 그러므로 하이브리드형 능동필터에 제안한 과전류 보호방법을 적용할 경우 직렬보상기를 제어함에 있어 기본파에 대한 임피던스와 함께 고조파에 대한 임피던스도 함께 고려 되어야 한다.

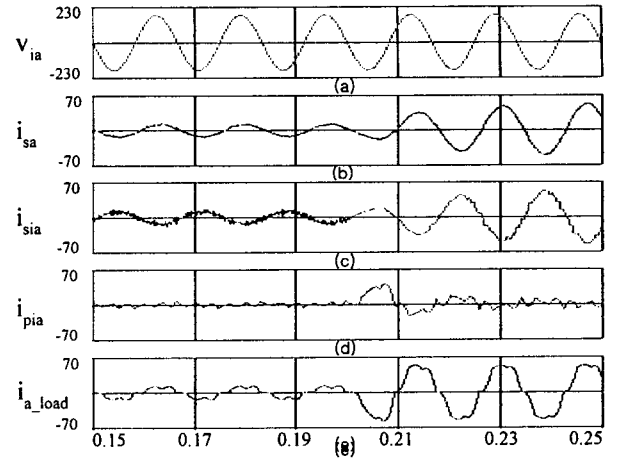
5. 시뮬레이션 결과

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameters

Parameters	Value
Input voltage (V_{ia} , V_{ib} , V_{ic})	220V, 60Hz
Line impedance (R_s , L_s)	0.2Ω , $25\mu\text{H}$
C_{fs}	$280\mu\text{F}$
L_{fs}	0.5mH
R_s	0.5Ω
C_{fp}	$17\mu\text{F}$
L_{fp}	1.5mH
R_p	1Ω
DC capacitor (C_{dc})	$15,000\mu\text{F}$
DC voltage (V_{dc})	400V

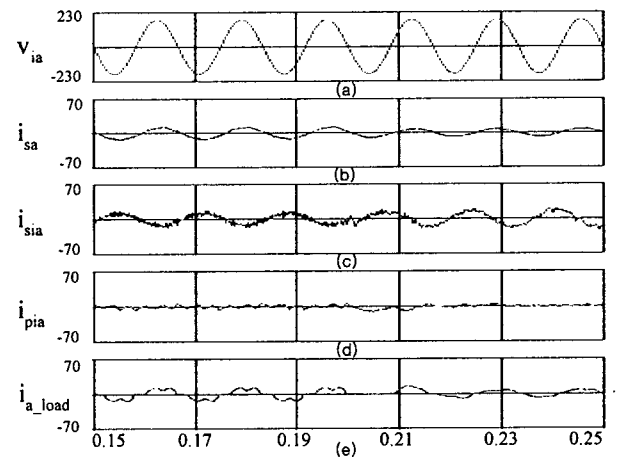
그림 8~11은 그림 1의 통합 전력품질 제어기를 모델링한 simulation 결과이다. 그림 8은 어떤 과전류 보호기법도 적용하지 않은 경우의 전압, 전류 파형이고, 그림 9~11은 각각 Method 1, Method 2, Method 3을 적용한 경우의 전압, 전류 파형이다. 본 simulation 에서는 사고 시(0.2 sec) 정상상

태 보다 4배의 과전류가 흐르는 것으로 가정하였다. 이때 모선에 과전류가 흐르게 되면 그림 8에서 보여지는 것 처럼 직렬보상기를 구성하는 변압기 2차측 즉 직렬보상기의 인버터 측에도 과전류가 유기된다. 이 경우 제안한 Method 1, Method 2 Method 3의 방법을 적용하면 직렬보상기의 인버터 측에 유입되는 전류가 크게 감소함을 그림 9, 10, 11의 (c)에서 확인할 수 있다.



(a)전원전압, (Source voltage)
(b)전원전류, (Source current)
(c)직렬보상기 전류, (Current of series compensator)
(d)병렬보상기 전류, (Current of parallel compensator)
(e)부하전류, (Load current)

그림 8 보호기법을 적용하지 않았을 경우의 시뮬레이션 파형
Fig. 8 Simulation waveforms without any protection scheme



(a)전원전압, (Source voltage)
(b)전원전류, (Source current)
(c)직렬보상기 전류, (Current of series compensator)
(d)병렬보상기 전류, (Current of parallel compensator)
(e)부하전류, (Load current)

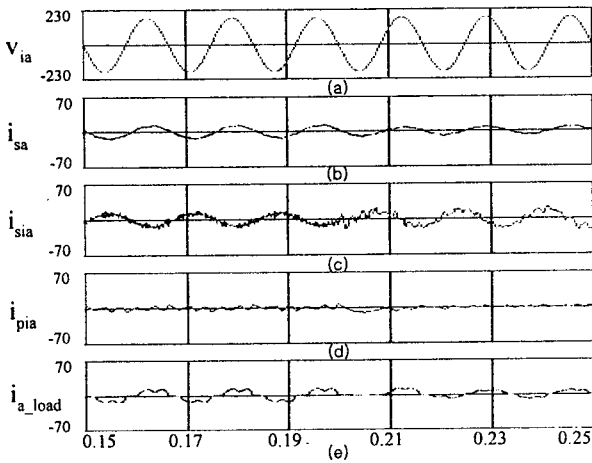
그림 9 Method 1을 사용한 경우의 시뮬레이션 파형
Fig. 9 Simulation waveforms in method 1

5. 결 론

본 논문에서는 통합 전력품질 제어기의 새로운 과전류 보호방법을 제안하고 분석하였다. 제안된 과전류 보호방법은 배전 계통에 사고가 발생하였을 경우 직렬보상기를 부하전류 또는 전원전류의 기본 파에 대하여 $k(\Omega)$ 의 임피던스 갖도록 제어하거나 직렬보상기의 출력으로 전원전압의 역 전압을 갖도록 제어함으로써 수행 된다. 그 결과 직렬보상기를 과전류나 과부하로부터 보호할 수 있으며 제안된 방법의 타당성은 Advanced Continuous Simulation Language (ACSL)을 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

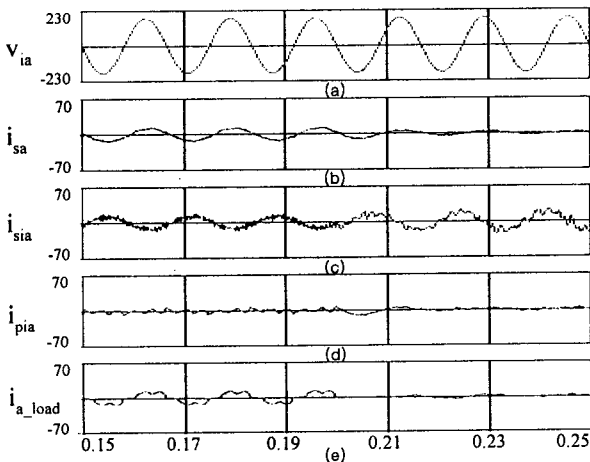
참 고 문 헌

- [1] H. Fujita and H. Akagi, "A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power System-Series Connection of Passive and Active Filters" *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 27, no. 6, pp. 1020~1025, 1991, December.
- [2] H. Fujita and H. Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series- and Shunt-Active Filters", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 13, no. 2, pp. 315~322, 1998, March.
- [3] Luis A. Moran, I. Pastorini, and Juan Dixon, "A Fault Protection Scheme for Series Active Power Filters", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 14, no. 5, pp. 928~938, 1998, September.
- [4] H. Akagi, "New Trends in Active Filters for Power Conditioning", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 32, no. 6 pp. 1312~1322, 1996, November/December.
- [5] F. Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, "Compensation Characteristics of the Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 29, no. 1 pp. 144~152, 1993, January/February
- [6] F. Z. Peng, "Application Issues of Active Power Filters", *IEEE Industrial Applications Magazine*, pp. 21~30, 1998, September/October.



(a)전원전압, (Source voltage)
 (b)전원전류, Source voltage)
 (c)직렬보상기 전류, (Current of series compensator)
 (d)병렬보상기 전류, (Current of parallel compensator)
 (e)부하전류, (Load current)

그림 10 Method 2를 사용한 경우의 시뮬레이션 파형
 Fig. 10 Simulation waveforms in method 2



(a)전원전압, (Source voltage)
 (b)전원전류, Source voltage)
 (c)직렬보상기 전류, (Current of series compensator)
 (d)병렬보상기 전류, (Current of parallel compensator)
 (e)부하전류, (Load current)

그림 11 Method 3을 사용한 경우의 시뮬레이션 파형
 Fig. 11 Simulation waveforms in method 3