

능동전력필터의 현장적용사례 보고

박기원*, 권병기*, 박창주*, 조용상*
포스콘 기술연구소*

Field Application of Active Power Filter

Ki-Won Park*, Byeong-Ki Kwon*, Chang-Joo Park*, Eung-Sang Cho*
POSCON R&D CENTER*

Abstract - The active power filter(APF) is a good solution for elimination of harmonics, which is produced by the nonlinear loads such as static power converter, computer and so on. Our trademark of APF is a POSAPF-series, which was applied to Samsung Electronics corp. in January 2002, and which lines up from 50A to 500A.

This equipment reduces total demanded distortion (TDD) by 2~3%, which originally 11~13%. This paper discusses the harmonic regulation, measurement and analysis, and describes control theories and design methods of POSAPF-series, and, finally, shows the experimental results of a real system.

1. 서론

능동전력필터(Active Power Filter)는 산업설비에 산재한 전력변환장치에 의해 발생하는 고조파를 가장 효율적으로 제거하는 장치이다. 현재 국내의 APF시장은 연간 200억 정도로 추정되며 전력변환설비의 급증에 따라 APF시장규모도 점진적으로 증가하고 있다. 외국의 ABB, Siemens 등이 선점하고 있던 국내시장에 당사의 POSAPF-1000이 최초로 현장적용(삼성전자 C.S동 변전실)에 성공하여 향후 국내시장을 석권할 수 있는 기반을 마련하게 되었다.

삼성전자 C.S동은 일반사무실빌딩으로 컴퓨터, 공조장치, 형광등 등의 조명부하에 의한 임의의 고조파이므로 APF 적용범위의 확대라는 점에서 그 가치가 더욱 크다.

본 논문에서는 현장의 고조파분석에서부터 설계, 제작, 설치까지의 과정을 요약하고 POSAPF-1000에 적용된 주요 알고리즘과 현장설치후의 성능평가까지 개괄적으로 다루었으며 이를 토대로 POSAPF-1000의용량별 시리즈화를 보다 효율적으로 수행하고자 한다

2. 본론

2.1 현장의 고조파측정 및 분석

표.1에서와 같이 IEEE의 고조파전류에 대한 규제치는 일반적인 단락용량에서 전류의 TDD를 5%이내로 하는 것이다.

그림.1, 2는 현장에서 BMI장비로 측정한 분석결과의 일부이다.

표.1 IEEE-519의 고조파 전류 규제치

I _{so} /I ₁	Odd Harmonic Order h					TDD
	h<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

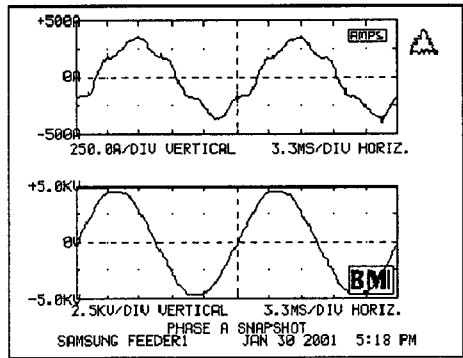


그림.1 전류(상), 전압(하)의 순시파형

SAMSUNG FEEDER1 Jan 30 2001 (Mon)
PHASE A CURRENT SPECTRUM 5:15:33 PM
Max load current: 280 A rms
Fundamental freq: 60.0 Hz

HARM	PCT	SINE PHASE	HARM	PCT	SINE PHASE
FUND	84.1%	-16	2nd	0.2%	46
3rd	10.3%	-147	4th	0.2%	162
5th	4.0%	-33	6th	0.2%	102
7th	2.5%	-114	8th	0.2%	52
9th	1.6%	-73	10th	0.1%	-75
11th	0.9%	85	12th	0.1%	-159
13th	0.6%	133	14th	0.1%	-96
15th	0.4%	-103	16th	0.1%	107
17th	0.3%	-97	18th	0.2%	187
19th	0.2%	86	20th	0.1%	157
21st	0.2%	-86	22nd	0.1%	-96
23rd	0.1%	99	24th	0.2%	96
25th	0.2%	104	26th	0.1%	143
27th	0.1%	-71	28th	0.1%	101
29th	0.1%	79	30th	0.1%	150
31st	0.1%	34	32nd		
33rd	0.1%	61	34th		
35th	0.1%	34	36th		
37th	0.1%	79	38th		
39th	0.1%	79	40th		
41st	0.1%	34	42nd		
43rd	0.1%	61	44th		
45th	0.1%	34	46th		
47th	0.1%	79	48th		
49th	0.4%	115	50th		
ODD	11.1%		EUEN	0.8%	
TDD:	11.2%				

그림.2 a상 전류에 대한 고조파 분석

그림.1, 2는 순시파형과 그에 대한 분석이며, APF의 설치용량을 설계하기 위해서는 발생하는 고조파의 최대치를 측정해야한다. 이를 위해 BMI장비로 24시간이상 모니터링하여 고조파의 최소/평균/최대치와 역률, 전압의 THD, 전류의 TDD, 불평형을 등을 측정, 분석한다.

또한 전원계통의 임피던스를 분석하여 리플제거용 필터의 설계와 계통연계용 리액터의 리액턴스범위를 결정한다.
계통전압을 APF의 입력전압으로 맞추기 위해 사용하는 변압기는 리플전류가 상위계통에 미치는 영향을 최소화하기 위해 %임피던스를 1% 이내로 낮추어 설계해야 한다.

2.2 전력회로의 설계

전력회로의 기본구성은 6개의 IGBT와 캐패시터뱅크로 이루어진 Stack과 계통연계용 리액터이다.

이밖에 APF변압기와 전압센서, 전류센서, 퓨즈, MCCB류, 조종저항, 스위칭 파워씨플라이, 방열팬 등으로 구성된다.

이러한 전력회로를 APF로 동작시키기 위한 제어기는 TMS320C31 DSP를 사용하였으며 각종 센서와 Gate Driver, DIO를 통해 전력회로에 연결되어 있다

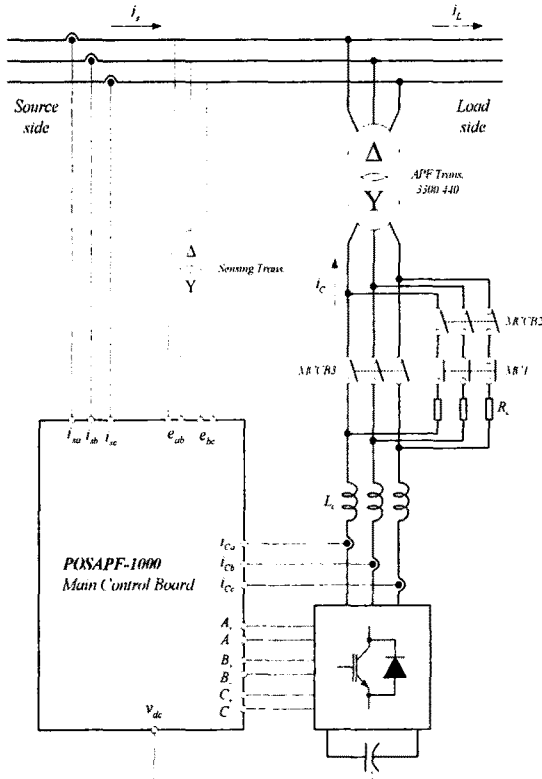


그림.3 전력회로의 구성

2.3 적용한 제어기의 주요 특성

삼성전자 CS동에 적용한 APF 알고리즘은 각 고조파 성분은 전류제어기를 별도로 두는 방식을 사용하였다. 즉, 기본파와 기본파의 역상분, 5차성분과 그에 대한 역상분, 7차성분과 그에 대한 역상분, 11차성분과 그에 대한 역상분, 13차성분과 그에 대한 역상분 등에 대하여 각각의 I-P제어기를 사용함으로써 APF의 보상성능을 최대화할 수 있었다.

전체 제어기부분을 블록다이아그램으로 나타내면 그림.4와 같다

POSAPF-1000은 그림.5와 같은 Keypad를 사용하여 APF의 운전, 정지 뿐만 아니라 시스템상태보기, 순시파형보기, 고조파분석 스펙트럼보기 등을 그래픽으로 확인할 수 있다. 또한 윈도우 95, 98, 2000등에서 실행할 수 있는 MMI를 적용하여 운전, 정지와 시스템의 운전상태, 고장정보 등을 쉽게 모니터링함과 동시에 각종 제어변수를 설정 및 변경할 수 있다.

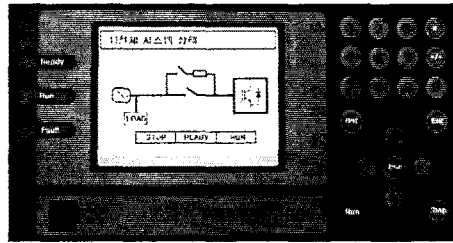


그림.5 Graphical KEYPAD

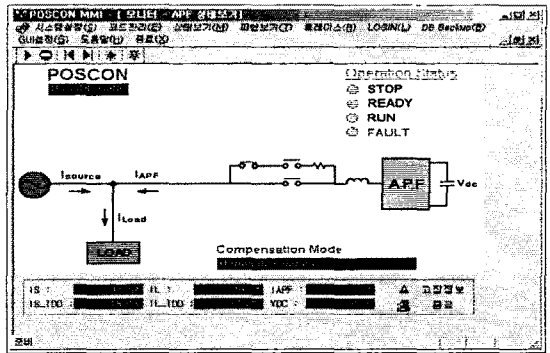


그림.6 MMI의 상태보기 화면

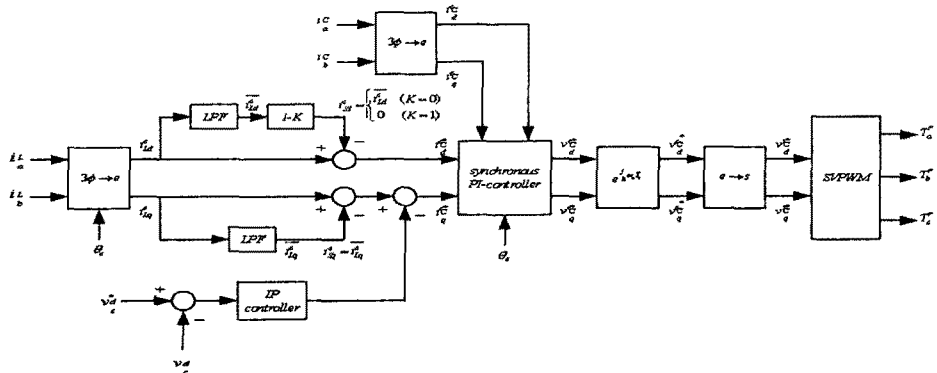


그림.4 알고리즘 블록도

2.4 설치후 보상특성 및 성능평가

전원전류 센싱용 CT를 설치한 포인트를 PCC(point of common coupling)로 규정한다. APF는 이 PCC 이후에 설치되어있는 부하의 고조파를 제거하며 이전의 전원사이에 연결되는 다른 부하는 관여하지 않는다.

보상전과 보상후의 파형채취와 THD, TDD 분석은 앞에서 규정한 PCC에서 수행한다.

THD와 TDD의 정의는 식(1), (2)와 같으며 전압은 THD를, 전류는 TDD를 측정한다.

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h}}{V_1} = \frac{V_{h_total}}{V_1} \quad (1)$$

$$I_{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h}}{I_L} = \frac{I_{h_total}}{I_L} \quad (2)$$

여기서 I_L 은 계통의 정격전류, I_{h_total} 은 고조파전류의 실효치 성분을 나타낸다.

전압은 기본파성분의 변화가 거의 없어 THD로 측정해도 되지만 전류는 부하의 상태에 따라 기본파성분이 수시로 변화하기 때문에 계통의 정격전류를 포함시킨 TDD를 측정해야 한다. BMI장비의 경우 전류 TDD 측정을 위한 정격전류를 설정할 수 있다.

각 차수별 고조파에 대한 APF의 보상성능은 식(3)과 같이 고조파 보상률(Compensation Ratio)을 정의하여 평가할 수 있다

$$CR = \frac{I_{h_before} - I_{h_after}}{I_{h_before}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

보상전, 보상후의 고조파 보상률은 표.2와 같다.

표.2 고조파 보상률

h	before	after	CR
5	7.9[%]	0.3[%]	96.2[%]
7	4.1[%]	0.3[%]	92.2[%]
11	1.6[%]	0.3[%]	81.3[%]
13	0.2[%]	0.2[%]	0.0[%]
I_{TDD}	9.2[%]	2.6[%]	71.7[%]

표.2의 고조파 보상률은 현장설치후 측정된 Data를 근거로 작성하였으며 상대적으로 고조파부하가 적을때이다. 특정 차수 고조파의 발생량이 적으면 아예 보상하지 않는 것이 제어기의 안정성확보에 유리하다. 표.2의 13차 고조파의 경우 보상전의 발생량이 적으므로 제어기가 자동으로 13차보상모드를 해제한 것이다. 발생량이 증가하면 다시 보상모드에 들어가도록 구성되어 있다.

차수별 고조파보상률의 경우 발생량이 증가하면 98[%]에 가까운 보상률을 보였으며 I_{TDD} 의 경우 부하가 많을때에는 13.4%에 이르는데 이때에도 보상후의 I_{TDD} 는 3[%]를 넘지 않았다.

전체 고조파 보상률은 APF의 제어대상 고조파차수를 벗어나는 높은 차수의 고조파 때문에 80[%]내외의 특성을 갖고 있다.

APF운전 전/후의 전류파형과 그에 대한 주파수 스펙트럼을 그림.7, 8에 나타내었다.

필터전류는 부하전류의 고조파성분만을 보상함으로써

전원전류의 고조파성분이 제거되었음을 알 수 있다.

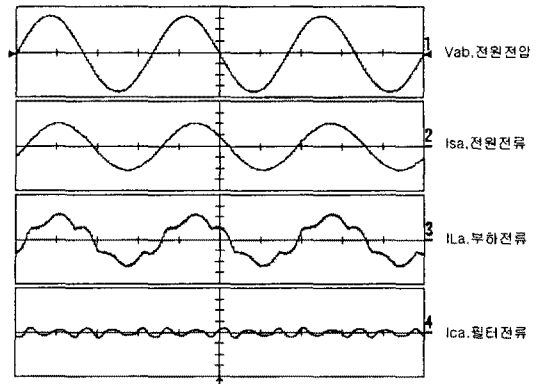


그림.7 APF 운전중 전류파형의 순시치

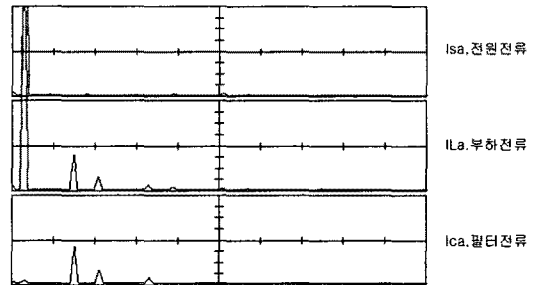


그림.8 APF 운전중 각전류의 주파수 스펙트럼

3. 결 론

능동전력필터의 성능에 요구되는 필수조건은 전원전류의 I_{TDD} (Total Demanded Distortion)을 5[%]이내로 낮추는 것이다. 삼성전자에 적용한 당사의 POSAPF-1000은 I_{TDD} 를 항상 3[%]이내로 낮춤으로써 기존의 ABB, Siemens 등의 외국제품과 비교하여도 뒤지지 않는 우수한 성능을 나타냈다. 또한 현장설치기간의 단축 및 설치이후 발생할 수 있는 A/S의 신속한 대응으로 외국의 제품에 비해 경쟁력을 갖추고 있다.

향후 고조파와 무효전력을 보상할 수 있는 다양한 종류의 제품을 개발하여 전원품질분야의 독보적인 기술력을 갖출 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] POSAPF-1000 User Manual, Training Manual, Keypad Manual, MMI Manual, Test Manual, 2002
- [2] S. G. Jeong, M. H. Woo, "DSP-based Active Power Filter with predictive current control", IEEE Trans on IE, vol.44, no.3, 1997
- [3] Sang-Joon Lee, Seung-Ki Sul, "A harmonic reference frame based current controller for Active Filter", APEC 2000, pp.1073-1080.
- [4] 배본호, 설승기, "디지털 동기좌표계 전류제어기에서의 시지연을 고려한 PWM기법", 2001년 대한전기학회 춘계학술대회, pp.244-246.
- [5] F. Z. Peng, J. S. Lai, "Generalized instantaneous reactive power for three phase power systems", IEEE Trans Instrument and measurement, vol.45, no.1, pp.293-297, Feb. 1996.
- [6] H. Akagi, "New trend in active filter for power conditioning", IEEE Trans on IA, vol.32, no.6, 1996.