전원 전류 고조파 제거를 위한 수동 필터의 선택 및 시스템

이 봉 진* - 이 후 찬 - 박 종 연
강원대학교 전기전자 전공

Passive Filter Selection Techniques and the elimination System for the current harmonics on the power line

Bong-Jin Lee · Hu-Chan Lee · Jong-Yeon Park
Dept. of Electrical and Electronic Engineering. Kangwon National University

Abstract - 본 논문에서는 1kVA급 비선형 부하에서 발생한 고조파 전류의 저감을 위한 시스템을 설계 및 제작하였다. 제안된 시스템은 비선형 부하의 차수별(3~9차) 고조파 발생량을 검출한 후 설정된 기준치를 넘어서는 고조파들을 저감할 수 있도록 해당하는 고조파의 수동 필터만 스위치를 이용하여 연결하는 구조를 가진다. 스위칭을 위한 제어기는 아날로그 소자만으로 구성되어 있다. 제안된 방법은 기존 수동 필터의 다양한 비선형 부하에 적용되지 못하는 단점을 보완하는 동시에 능동 필터보다 단순하며 저가로 구현할 수 있다. 형광등 부하와 다이오드 정류 부하에 대한 실험을 통해 제안된 시스템의 성능과 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

고조파 발생을 억제하기 위한 대책으로 지금까지 가장 일반적으로 사용되어 왔던 방법으로 크게 수동 필터(Passive filter)와 능동 필터(Active filter)로 구분하고 있다[1]. 수동 필터는 구조가 단순하고 설치 및 보수, 유지가 비교적 편리하다는 이점이 있기는 하나 공진 발생 가능성, 부하 운전 조건 등에 따른 무효 전력 과보상 등의 문제점이 있어 최근 수동 필터를 대체하기 위해 고조파 전류를 전원에 주입하여 부하의 고조파 전류를 상쇄시키는 능동 필터에 대한 연구 개발이 이루어지고 있다. 그러나 능동 필터는 가격이 매우 높으므로 지금 여력이 충분치 못한 대부분의 수용가에서는 고조파 억제 대책으로 사용하기 매우 힘들다[2].

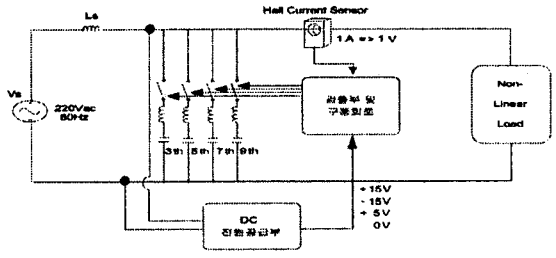
따라서 고조파 억제 대책이 필요한 수용가에 저렴하면서도 부하의 변동에도 적응이 가능한 필터가 필요하므로 본 논문에서는 정밀도를 요하는 반도체 기기, 의료 기기 등 단상의 소용량 특수 기기에 사용되는 부하 적응형 고조파 제거 기법을 제안하였다. 제안된 방법으로 수동 필터의 문제점인 부하 변동에 적응하지 못하는 단점을 보완하였으며 시뮬레이션과 실험으로 이를 확인하였다.

2. 제안된 고조파 제거 기법

제안한 고조파 제거 시스템의 수동필터는 기존의 수동 필터 설계법을 참고하여 표 1의 설계 사양으로 결정하였으며[1][3][5] 검출부 및 구동부의 구성은 부하전류 검출부, GIC(Generalized Impedance Converter)를 이용한 대역 통과 필터부, On/off 비율 결정부 및 릴레이 구동부로 구성하였고, 제안한 시스템 블록도는 그림 1과 같다.

<표 1> 1.3kVA부하 수동필터 설계 사양

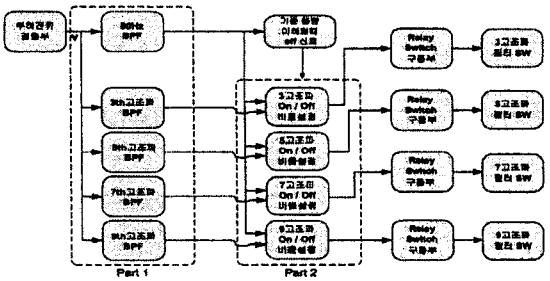
구분	3차	5차	7차	9차	*Ls*
보상용량[VAR]	98.4	98.36	21.88	21.88	
리액터[mH]	167	55.82	111.6	67	40
콘덴서[uF]	5.26	5.68	1.29	1.29	



<그림 1> 제안한 시스템 블록도

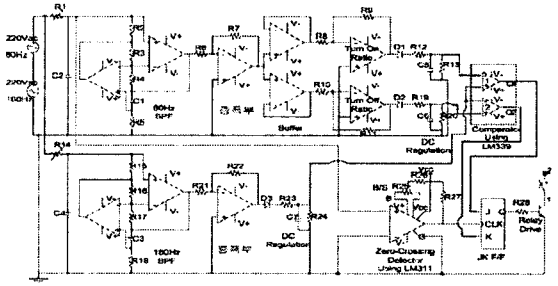
제안한 방법은 기존의 연구와는 다르게 부하 전류를 검출하고 각 고조파 필터 스위치를 개폐하는 구동부까지의 모든 회로가 아날로그 소자만으로 구성되어 있는 것이 특징이며, 저가로 회로를 구성할 수 있다는 장점이 있다[3].

검출부 및 구동회로는 비선형 부하의 전류로부터 기본파와 각 고조파를 검출하고 그 크기를 비교하여 정해진 비율에 따라 각 수동 필터 스위치의 온/오프를 결정한다. 검출부 및 구동회로의 블록도와 회로도는 그림 2, 그림 3과 같다.



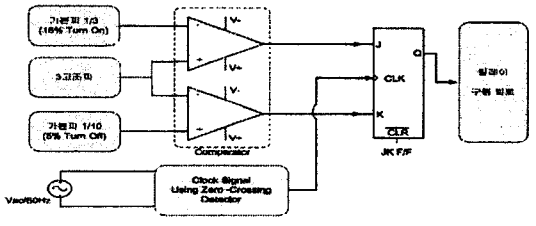
<그림 2> 검출 및 구동 회로의 블록도

부하 전류는 전류검출센서(Hall current sensor)에 의해 전압으로 검출하여 GIC를 이용한 대역 통과 필터를 사용하여 기본파 및 각 고조파로 분류한다[4]. GIC는 연산 증폭기와 L을 제외한 수동 소자를 이용하여 L을 구현한 것으로 정확한 L값을 얻을 수 있으며 기생 성분에 의한 영향 또한 고려할 필요가 없는 장점이 있다[6].



<그림 3> 검출 및 구동 회로의 회로도(3고조파 구동부)

대역 통과 필터에서 분류된 기본파는 반전 증폭기에 의한 증폭 후 버퍼를 통하여 두 개의 증폭된 신호로 나뉜다. 증폭된 두 신호는 On 비율과 Off 비율을 결정하는 회로의 입력으로 인가되며, On/Off 비율 결정부의 출력은 반파 정류된 DC 신호를 비교기(LM339)로 입력하여 3고조파와 비교하게 된다. 비교기의 출력은 두 개로 나누어지며 이 출력은 JK 플립플롭의 J, K로 인가하여 최종 릴레이 구동 회로의 출력 신호를 얻는다.



<그림 4> 3고조파 On/Off 비율 설정부 블럭도

그림 4는 그림 2(part2)의 블록도이며 3고조파에 대한 경우를 예를 들어 설명하였다. 3고조파 필터의 경우 고조파 크기가 기본파의 15%이상이면 스위치가 On이 되며, 5%이하이면 스위치가 Off 된다. 기본파와 3고조파 필터 On/Off 비율 설정은 기본파를 Op-amp를

사용하여 15/100(15%:On), 5/100(5%:Off)로 크기를 조정 후 3고조파의 크기와 비교하도록 하였다.[표2] 이 두 파형으로부터 Op-amp의 비교된 출력은 JK 플립플롭의 입력으로 사용하며 JK의 상태에 따라 On/Off 신호를 출력하게 된다. 이처럼 JK 플립플롭을 사용함으로써 히스테리시스 회로를 사용하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. JK 플립플롭 IC는 클럭을 인가해 주어야 동작을 하며 클럭 하강 에지(edge)에 동기하여 J, K 입력에 의해 High 또는 Low 신호를 출력한다. 본 논문에서는 LM311을 이용하여 Zero-Crossing Detect 방법으로 JK 플립플롭의 클럭을 인가하였다. 60Hz 대역 통과 필터의 출력을 입력으로 하여 16.67ms마다 클럭이 발생하도록 하였다. 여기서 On/Off 비율을 각 고조파 필터마다 다르게 설정할 수 있는 것이 본 논문에서 제안한 고조파 제거 시스템의 특징이다.

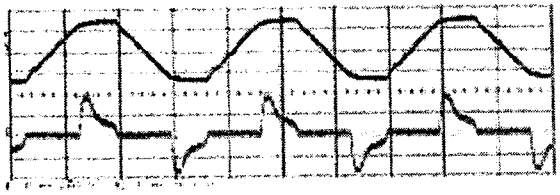
제안된 고조파 제거 시스템은 설정된 비율에 따라 부하의 변동에 적응하여 3~9차 수동필터의 개폐를 결정한다. 낮은 용량의 부하에 대해 수동필터를 연결하는 것은 필요 이상의 무효 전력이 발생되므로 JK 플립플롭의 리셋 핀을 이용하여 적정 이하의 부하에 대해서 수동필터를 오프하도록 설계하였으며 본 논문에서는 정격 용량의 10% 미만 용량이 되면 JK 플립플롭에 리셋 신호를 인가하도록 설계하였다.

<표 2> 제안된 시스템의 on/off 비율

구분	3고조파	5고조파	7고조파	9고조파
On(%)	15	10	10	10
Off(%)	5	5	5	5

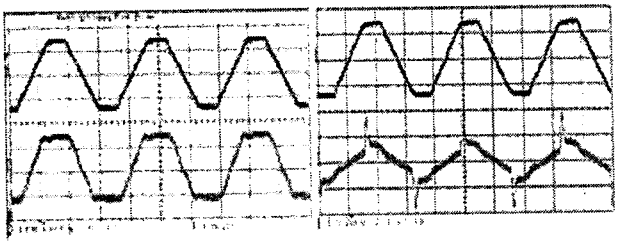
3. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 논문에서는 실험 대상을 단상 전원(220V/60Hz)으로 CFL (약 500 [VA]) 부하와 정류회로 (약 800[VA])를 병렬로 연결하여 1.3[kVA]의 비선형 부하를 제작하여 실험하였다.



<그림 5> 1.3kVA 부하의 입력 전압(상) 입력 전류 파형(하)

그림 5는 1.3[kVA] 비선형 부하의 입력 전압, 입력 전류 파형이다. 이 때 부하에 필요한 수동필터를 설치하면 그림 6과 같은 입력 전압과 입력 전류 파형을 얻게 된다.



<그림 6> 수동필터만 연결시 입력 전압(상) 전류(하) 파형

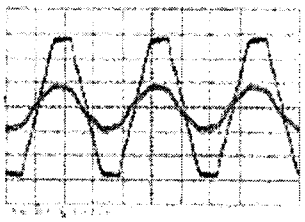
<그림 7> 부하 입력 전압(상) 전류(하) 파형

본 논문에서 제안한 고조파 제거 시스템의 성능을 검증하기 위해 필터 연결 전, 수동필터만 연결하였을 경우 [그림1], 수동 필터와 검출부 및 구동회로를 함께 연결하였을 경우[그림 2]로 나누어 전압, 전류 파형의 THD(Total Harmonic Distortion) 및 전원의 PF(Power Factor), 무효 전력량을 측정하여 데이터를 비교 분석하였다.

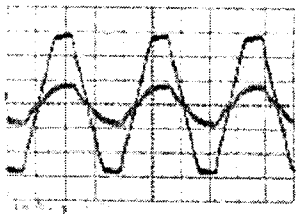
부하 적응형 필터를 설치했을 경우에도 부하 적응형 제어부에서 설정한 3~9 고조파 SW의 On비율을 만족하기 때문에 그림 6의 수동필터만 연결했을 경우와 동일하게 나타난다. 즉 1.3kVA 부하에서는 수동필터만 설치한 경우와 본 논문에서 제안한 제어기법을 사용한 부하 적응형 필터를 설치한 경우의 입력 전압, 전류 파형으로 THD, PF를 비교하면 비슷한 성능을 갖게 된다.

다음으로 논문에서 확인하려고 하는 부하가 변동하였을 경우에 대해 수동필터와 부하 적응형 필터의 성능을 비교하였다. 설정된 부하는 (CFL Lamp 250[VA] + 저항부하 350[VA]) 600[VA]급 용량으로 실험하였다.

그림 7은 필터를 연결하기 전의 입력 전압과 입력 전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 8은 수동필터를 연결한 경우의 입력 전압과 입력 전류 파형이며 그림 9는 부하 적응형 필터를 설치했을 경우의 파형이다. 실험을 통해 얻은 비교 데이터를 표3에 나타내었다.



<그림 8> 수동필터만 연결시 입력 전압/전류 파형



<그림 9> 부하적응형 필터연결시 입력 전압/전류 파형

설정된 부하에 대해 수동필터는 3~9고조파 필터가 연결되며 이 때 3고조파 전류는 19.8%가 검출되며 5고조파~9고조파의 전류는 10% 이하로 검출되어 부하 적응형 필터의 검출 및 구동회로에서는 조건을 만족하는 3고조파 필터만을 연결한다. 수동필터만을 연결했을 경우에는 필터 설치 전보다 약 90W의 유효전력이 필요이상으로 전력낭비가 발생하게 되는 상태이며 이것은 수동필터만을 연결했을 때의 단점이다. 또한 입력 전압에 대해 입력 전류가 진상이므로 사고발생의 위험이 있다. 반면 부하 적응형 필터를 연결한 경우에는 필터 설치 전에 비해 약 10W만의 유효전력이 소비되어 부하에 적응하여 알맞은 필터의 효과를 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

<표 3> 그림 7~9 데이터 비교

구분	A THD[%]	PF	필터소비전력[W]	필터
필터 설치전	44.5	0.908	X	X
수동 필터	6.71	0.980	89	3,5,7,9th
부하 적응형 수동 필터	9.77	0.993	10	3th

마지막으로 설계된 수동필터의 용량에 10%에 해당하는 부하(약 CFL 150[VA])의 경우에 대한 수동필터와 부하 적응형 필터의 성능을 비교하였다. 부하 적응형 필터는 낮은 부하에 대해 모든 필터를 연결하지 않도록 설계되어 있으므로 수동필터는 연결되지 않는다. 같은 상황에서 수동필터만 연결했을 경우 짝수 고조파가 발생하였으며 필터에서 소비되는 무효전력으로 인해 150[VAR]정도의 무효전력 손실이 발생하는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문은 부하의 변동에 적응이 가능한 고조파 제거 기법을 제안하였으며 부하가 변동하였을 경우에 대해 부하 적응형 필터는 전력손실측면에서 10W만을 소비하여 수동필터만을 연결하였을 때의 손실보다 적게 나타났으며 THD는 10%미만이고 PF는 0.99로 비슷한 특성을 보였다.

본 시스템은 부하의 전류를 고조파 크기와 기본파 크기의 비율에 따라 필터를 연결 또는 차단하는 방법을 선택함으로써 부하의 성격에 따라 동작하도록 설계되었다. 또한 모든 회로를 아날로그 소자만을 이용함으로써 마이크로컨트롤러를 사용할 때 보다 오동작을 최소화 하였으며 저가로 구성할 수 있었다.

본 논문을 통하여 고조파 억제대책이 필요한 수용가에 저렴하면서도 부하의 변동에도 적응이 가능한 필터가 필요한 정밀도를 요하는 반도체 제조장비, 의료 기기 등 단상의 소용량 특수기기에 부하 적응형 필터가 적용 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] Yaow-Ming Chen, "Passive filter design using genetic algorithms", IEEE Trans Industrial Electronics Vol 50, pp. 2002-207, Feb. 2003

[2] J.C.Das, Senioer Member, IEEE " Passive Filters - Potentialities and Limitations", IEEE Trans Industrial Applications, Vol.40, No.1, pp 232-241, Jan/Feb 2004

[3] Elham B.Makram, "Harmonic filter design using actual recorded data", Senior Member, IEEE, E,V IEEE Trans Industrial Applications, Vol. 29, No. 6, Nov/Dec 1993 pp.1176-1183

[4] 전정채, 유재근, 이상익 "고조파 저감을 위한 수동 필터의 제어시스템에 관한 연구" 조명 전기 설비학회 논문지 제 18권 제 4호, 2004년 7월

[5] 김경철, 강윤모, 백승현, 김종욱, "비선형부하의 고조파전류 저감을 위한 직렬 및 병렬 동조필터에 관한연구", 조명 전기 설비학회 논문지 Voll. 17. No.6 pp. 113-118 11. 2003

[6] 정동열 "GIC를 이용한 전원 전류의 고조파 제거시스템 연구", 강원대학교 박사학위 논문 2004년. 8월