

PLC제어 시스템에 의한 고조파 제거용 필터 시스템 개발에 관한 연구

안효섭*, 신관우**, 고석보**

공주대학교 전기전자정보공학과*, 기계공학과**

A Study on the development of Harmonic reduction filter system from PLC control system

Hyo-Seop An*, Kwan-Woo Shin**, Seok-Bo Ko**

*Dept. of Electrical Electronic & Information Engineering, Dept. of Mechanical Engineering Kongju Univ.

Abstract - In this paper, APF(Active Power Filter) will be treated in order to improve the output current distortion of the AC source. APF generates the harmonic current which contributes to a source side harmonic reduction. We can extract the compensating current of the parallel APF with phase transformations and the proposed current control method. Therefore, the calculation times is short and the control method is simple compared with conventional hysteresis methods. Experimental results verify that the system using the proposed method appers a good performance.

1. 서 론

전력계통에서 부하로 전력을 전달하는 과정에서, 반도체 전력변환장치를 사용하는 부하는 비선형 부하로 동작하여 전원측에 심각한 고조파를 발생시키는 요인으로 작용한다. 이러한 고조파는 전원전압의 왜곡 및 발전기, 송전선, 변압기 등과 같은 전력 계통 장치들의 용량중대를 가져오며 전기기기, 케이블, 진상 콘덴서 등의 전력계통 소자들에 열 및 소음을 발생시키고 더 나아가 전연과파 또는 수명단축을 초래한다. 또한 컴퓨터, 계측장비와 같은 각종 전자장비의 오동작이나 통신 시스템에 EMI현상을 야기하며, 전동기에 이상 진동 토크를 발생시키고 철손, 동손 등의 손실을 증대시킨다. 따라서, 고조파 발생에 대한 효과적인 대책에 관한 과제는 매우 중요한 연구 과제라고 할 수 있으며, 오랜 기간동안 연구가 진행되고 있다.[1-3]

종래에는 이러한 문제들을 해결하기 위해 저가의 수동필터를 사용하여 왔지만, 주로 인덕터와 커패시터로 구성되는 수동필터는 특정한 차수의 고조파 성분만을 제거할 수 있어, 교류 전원측에 광범위한 차수의 고조파가 발생할 경우 그다지 만족할 만한 성능을 얻기 힘들다. 또한, 계통내에 공진을 유발할 가능성이 있으며, 외형이 크다는 단점을 안고 있다. 따라서, 본 연구에서는 수동필터의 단점을 보완하기 위해 병렬형 능동전력필터(APF)를 설계하여 기존에 많이 사용되던 Hysteresis 전류제어기를 보완하기 위한 전류제어법을 구성하여 전력품질 개선 및 스위칭 손실을 줄일 수 있는 시스템 제안한다.[4-5]

2. 시스템 구성

2.1 APF의 시스템 해석

일반적으로 능동전력필터에는 전류제어형이 널리 사용된다. 입력전류가 정현적인 형태를 가질 수 있도록 능동전력필터는 부하에 필요한 고조파성분을 주입한다. 그러나 이러한 방식은 이상적인 전압 조건에서 동작한다. 따라서, 입력전압의 왜곡이나 서지전압 등은 전류제어형

능동전력필터의 안정적인 동작을 방해한다. 그림1은 전압제어형 능동전력필터로써, 상용전원과 병렬로 부하에 연결된 또 다른 전압원으로 간주되어진다. 만약 입력 전압과 능동전력필터의 전압이 정현적이면 두 전압원 사이의 전류 역시 정현적인 형태를 취한다. 즉 부하의 조건에 관계없이 두 전압원 사이에 흐르는 전류는 고조파가 없는 파형이 된다. 또한 능동전력필터의 출력전압을 입력전압보다 크게 유지하여 무효전력을 부하에 공급한다. 따라서 능동전력필터는 부하에 필요한 무효전력을 공급하며 상용전원 측에서는 부하에 필요한 유효전력을 공급하게 된다. 따라서, 입력전류는 전압과 동상이며 고조파가 포함되지 않게 된다. 더불어 부하전압은 능동전력필터의 출력전압과 같으므로 입력전압의 변동에 무관하게 안정된 동작을 수행한다.

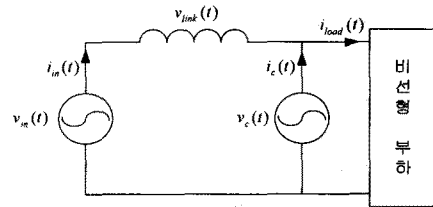


그림 1. 전압형 능동전력필터의 등가회로

그림2는 본 연구에서 이용하고자하는 부하회로 및 APF의 회로를 나타내고 있는 것으로써 전체 시스템 구성은 전압원과 정류기 부하를 포함하는 전동기 구동용 인버터, 그리고 APF 회로를 나타내고 있다.

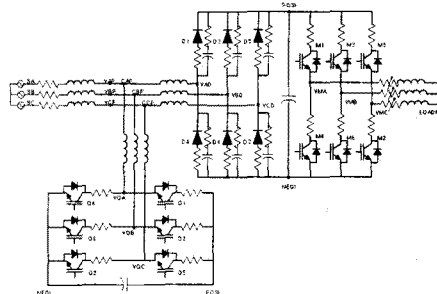


그림 2. 부하회로 및 APF 회로

2.2 전압 및 전류 제어부

비정현파 전류에 포함되어 있는 고조파 전류를 검출하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 3상 시스템에서 효율적으로 보상전류를 검출할 수 있는 좌표변환에 의한 방법

을 적용하였다. 이러한 좌표변화 방법에는 정지좌표계에 의한 방법과 동기회전좌표계에 의한 방법이 있는데 정지좌표계에 의한 방법의 경우에는 제어회로의 구성이 다소 복잡하기 때문에 본 연구에서는 동기회전좌표계에 의한 고조파 검출 방식을 사용하였다.

동기회전좌표축은 3상 전원의 주파수와 동일한 주파수로 회전하는 좌표축이다. a상의 부하전류가 식(1)과 같이 다양한 고조파를 함유한 형태로 존재한다면 보상후의 전류가 전원전압과 동상의 기본파로 유지되기 위해서는 보상전류가 식 (2)와 같이 되어야 한다.

$$i_{La} = i_{\rho 1} \cos \theta + I_{q1} \sin \theta + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k\theta - \Phi_k) \quad \text{식(1)}$$

$$i_{ca} = I_{\rho 1} \sin \theta + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k\theta - \Phi_k) \quad \text{식(2)}$$

따라서 이때 각각의 경우에 대한 능동전력필터의 보상 후 전원전류는 식 (3)과 같은 형태로 나타내게 된다.

$$i_{La} = I_{\rho 1} \cos \theta \quad \text{식(3)}$$

$$i_{ca} = I_{\rho 1} \cos \theta + I_{q1} \sin \theta \quad \text{식(4)}$$

동기좌표계의 d-q축 성분으로 이를 구현하기 위해서 동기좌표축상에서 기본파성분은 직류값으로 나타나고 고조파 성분은 교류성분으로 나타남을 이용한다. 부하전류의 q축 직류성분을 i_{Lq}^e , d축 직류성분을 i_{Ld}^e 라 한다면 d-q축상의 보상전류는 고조파 성분만을 보상하느냐 또는 고조파의 무효전력까지를 모두 보상하느냐에 따라 다음과 같이 표시된다.

q축 보상전류는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있고 식에서 i_{Lq}^e 는 동기좌표계로 변환된 전원전류를 나타내며, \bar{i}_{Lq}^e 는 동기회전좌표계로 변환된 전원전류의 직류분이다.

$$i_{ca}^e = i_{Lq}^e + \bar{i}_{Lq}^e \quad \text{식(5)}$$

한편 d축 보상전류는 APF가 고조파와 무효전력을 모두 보상하는 경우 부하전류의 d축 전류 그 자체가 되므로 보상전류 i_{ca}^e 는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$i_{ca}^e = i_{Ld}^e \quad \text{식(6)}$$

만일 APF가 고조파만을 보상하는 경우 보상전류 i_{ca}^e 은 d축 부하전류 i_{Ld}^e 에서 d축 직류성분인 \bar{i}_{Ld}^e 을 뺀 성분으로 보상전류가 결정된다.

APF의 직류단 일정전압 제어를 고려한다면 전압제어부를 거친 전압제어 신호를 식(5)의 q축 부하전류의 직류성분에 더하여 q축 보상전류를 결정하게 된다. 이는 APF의 손실분이 기본파의 유입으로 보상됨을 의미하며 그림3은 APF의 보상전류 검출부를 나타내는 것이다.

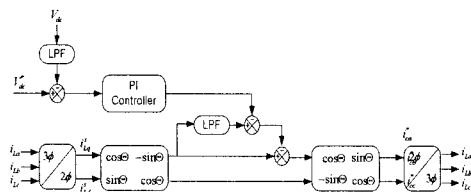


그림 3. APF의 보상전류 검출부

그림4는 일정한 주파수를 갖는 Hysteresis 전류제어기의 제어블럭을 나타내고 있다. DC 링크 전압제어기로부터 연산된

지령전류는 D/A컨버터를 이용하여 Analog값으로 변환되어 비교기의 입력으로 사용하고 전류검출기로부터 검출된 전류와 비교되어 D-FF에 입력하게 된다.(여기에서 D-FF의 clock 주파수는 시스템의 스위칭 주파수가 되면 여기서는 5-15kHz 가 되도록 구성하였다.) 따라서 D-FF에 의해 비교기의 chattering 현상을 막을 수 있다. 이러한 제어 출력값은 EPLD 에서 Dead-time 구현 및 각상의 출력파형을 발생시키게 된다.

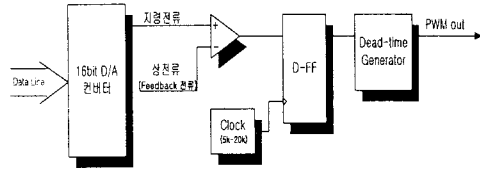


그림 4. 일정주파수를 갖는 Hysteresis 전류제어기

2.3 시뮬레이션

본 연구에서는 비선형 부하에 대한 고조파 저감 방법에 대하여 선행 실험을 위해서, Matlab/Simulink를 이용하여 전체 시스템의 기능을 분석하였다. 그림5는 전체 시스템의 각부분을 수학적으로 모델링한 제어모듈의 구성을 나타내고 있다.

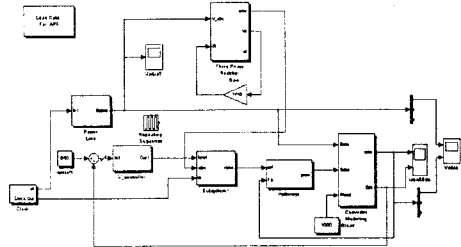


그림 5. 제안된 시스템의 Matlab/Simulink 회로부

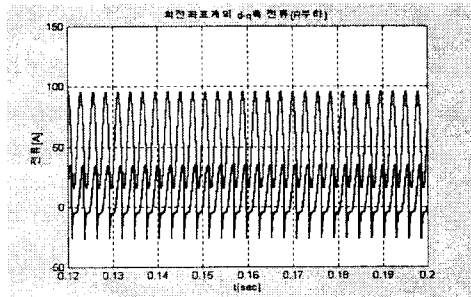


그림 6. APF의 d-q축 전류파형(R-L부하:L값이 작은경우)

그림6 ~ 그림8은 R정류부하와 200uH의 라인 인덕턴스를 고려하였을 때의 시스템 각부의 시뮬레이션 출력파형을 나타내고 있다. 이때 그림6은 부하에 흐르는 전류를 전원전압의 위상에 동기시켜 동기 회전좌표계로 표현한 d-q축 전류를 나타내고 있다. 그림으로부터 q축 전류는 dc 유효 전류를 갖는 교류전류로 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 dc 유효전류를 제어하여 APF의 DC링크전압을 일정하게 유지시키면 고조파를 함유하고 있는 부하전류의 실효치만을 전원에서 공급하게 된다.

그림7은 APF의 각부파형으로 각각 정류부하의 전류와 보상전류, 그리고 전원전압 및 전류를 나타내고 있다. 그림7에서 보는바와 같이 정류부하에 대하여 고조파 전류뿐만 아니라 전원의 위상과 일치하는 전류를 흘려줌으로써 역률도 개선됨을 볼 수 있다.

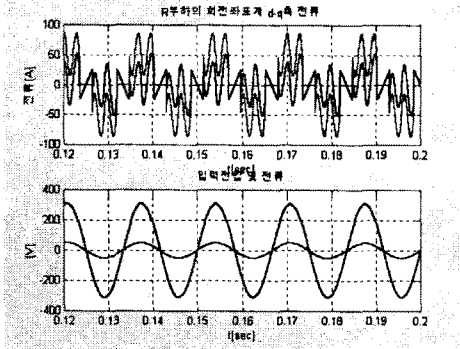


그림 7. APF의 각부파형(R-L부하:L값이 작은 경우)

그림8은 3상 전원전류 및 APF의 DC링크 전압을 나타내고 있다. 여기에서 DC링크 지령전압은 전원전압벡터와 정격 부하 시 APF의 직렬 인덕턴스의 양단 전압벡터의 합에 해당하는 전압으로 한다.

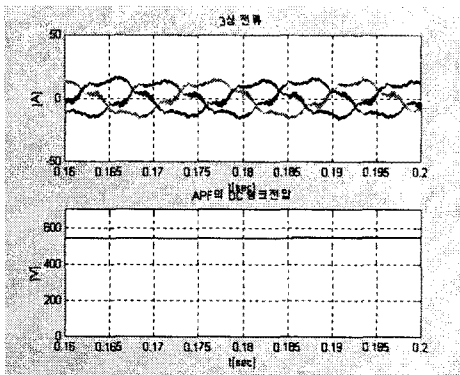


그림 8. 3상 보상전류 및 APF의 DC링크전압

그림9 ~ 그림10은 R-L 정류부하에 대한 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 여기에서 그림9는 R-L정류부하에 흐르는 전류에 대하여 보상전류를 용이하게 연산하기위한 동기 회전좌표계의 d-q축 전류를 나타내고 있다.

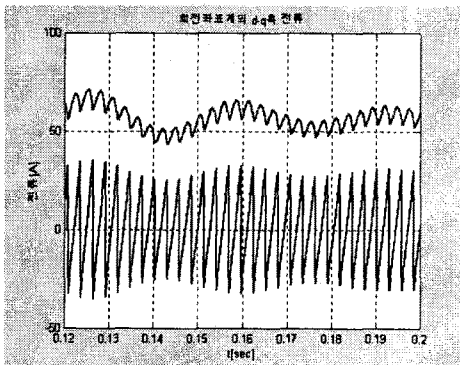


그림 9 APF의 d-q축 전류파형(R-L부하:L값이 큰 경우)

그림10은 R-L정류부하에 흐르는 부하전류 및 보상전류, 그리고 전원전압 및 전원전류를 나타내고 있다. 그림으로부터 R-L정류부하에 대해서도 전압과 동상인 정현전류를 흐를 수 있도록 APF가 양호하게 제어되고 있음을 볼 수 있다.

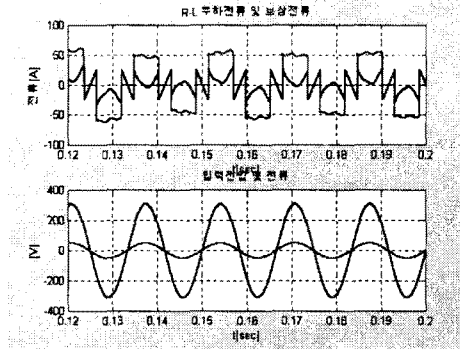


그림 10. APF의 각부파형(R-L부하:L값이 큰 경우)

3. 결 론

다이오드 정류기의 경우 APF로 보상하기 이전의 전원전류 주파수 스펙트럼으로 5차, 7차, 11차등의 수차를 제외한 기수 성분의 저차고조파 성분이 다량 함유되어 있으나, APF를 설치하고 히스테리시스 제어기의 주파수를 10kHz로 설정한 경우 부하 전류의 기본파 성분이 정확히 전원의 상전압과 동상으로 유지됨으로써, 제품의 역률을 향상시키고, 또한 IEC555-2의 THD 규격인 10%이내의 고조파 규제범위로 제어함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Lomatsu, T. Kawabata "A Control Method of Active Power Filter in Unsymmetrical and distorted Voltage System," PCC-Nagaoka '97, pp.161-168, 1997
- [2] L. Gyugyi and E.C. Strycula, "Active AC Power Filters," Proc. IEEE-IAS Annual Meeting Conference Record, pp.529-535, 1976
- [3] V. Soares, P. Verdelho and G. Marques "Active Power Filter Control Based on the Instantaneous Active and Reactive Current id-iq Method," PESC'97, pp. 1096-1101, 1997.
- [4] T. Furuhashi, S. Okuma, Y. Uchiakwa, "A Study on the theory of Instantaneous Reactive Power," IEEE Trans. Ind. Electron. Vol. 37, No. 1, pp.86-89, 1990.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices Without Energy Storage Componets," IEEE Trans. Ind. Applcat, Vol 20, No. 3 pp.625-630, 1984