

Series Hybrid Active Filter

김원호 김종수 강유리 임근희
한국전기연구소

Series Hybrid Active Filter

Wonho Kim Jongsoo Kim Iouri Kang Geunhie Rim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Hybrid active filters utilize passive filters to reduce the voltage rating and hence the VA rating of the active filter converter. A novel hybrid active filter topology to minimize utility current harmonics at high power levels is presented in this paper. The proposed topology combines both passive and active filters to obtain the lowest converter VA rating as compared to the converter rating in the active filter and the series-active hybrid filter configurations. This is demonstrated with experimental results from a laboratory model. Simulation results showing the effect of passive filter impedance are presented.

1. 서론

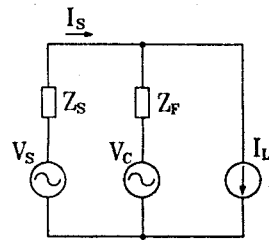
산업기기의 고도화에 따른 전력변환기 사용의 증가가 급속히 진전되고 있다. 이러한 전력변환기기 대부분은 전단부에 상용주파수의 교류 전원을 인가받아 다시 직류로 변환하는 정류과정을 거치므로 전력계통에서 보면 심한 비선형부하로 동작되어 전력계통 자체 내에 심각한 전압, 전류 고조파 문제를 야기하게 된다.

이에 대한 대비책으로는 L, C를 이용한 수동 필터와 근래에 도입되기 시작한 능동필터를 들 수 있는데 전자는 전원측 또는 부하측의 회로특성에 따라 공진을 유발할 수 있으며, 후자는 저차고조파 성분과 고차고조파 성분을 동시에 보상할 경우에는 고가의 비용문제가 뒤따른다.

따라서, 본 연구에서는 이에 대한 대비책으로서 수동필터와 능동필터를 적절로 결합한 새로운 하이브리드(Hybrid) 능동 필터를 도입하여 수동필터부의 기본파 주파수에 대한 임피던스는 증가되고, 고조파 성분에 대한 임피던스는 감소시킴으로서 그 성능을 향상시키고 능동필터부의 정격을 더욱 감소시켜 능동필터 사용에 의한 비용상승을 절감하며 제어 회로의 구성에 있어 간단한 방식으로 기본파 성분에 대한 능동필터부의 영향을 최소화 할 수 있는 방법에 대해 살펴보고자 한다. 본 연구의 실험에 사용하는 비선형부하는 3상 다펄스 시스템이며 향후 강화가 예상되는 IEEE 555-2, EN 61000 및 IEEE 519-1992에 대한 대비책이 될 수 있다.

2. 동작 원리

하이브리드 능동필터의 주회로에 대하여 그림 1.은 간이화된 등가회로를 나타낸다. 그림으로 부터 필터의 특성을 분석해보면



V_s : 전원 전압
 V_c : 컨버터 전압
 I_s : 전원 전류
 I_L : 부하 전류
 Z_s : Source impedance
 Z_F : Passive filter impedance

그림 1. 하이브리드 능동필터의 간이화된 등가회로

$$I_s(S) = \frac{I_L(S) \cdot Z_F}{Z_s + Z_F} + \frac{V_c(S)}{Z_s + Z_F} \quad (1)$$

부하전류가 k 차수의 고조파 성분만 가지고 있다고 할 경우, 전원측 전류에서 이 성분을 제외하려면

$$V_c = I_L(k\omega_0) \cdot Z_F(k\omega_0) \quad (2)$$

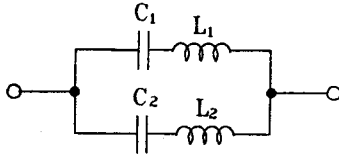
식 (1)과 (2)에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- 1) 부하전류의 k 차수 고조파를 효율적으로 제거하려면 수동필터의 임피던스 $Z_F(k\omega_0)$ 작을수록 좋으며 결과적으로 식 (2)에 의해서 입력 전원 전압의 임피던스가 $Z_s(k\omega_0)$ 보다 아주 크다고 가정할 경우 능동 필터의 정격을 무한대로 줄일 수 있다.
- 2) 필터의 효율을 증가하려면 $Z_s(k\omega_0)$ 낮을수록 좋다.

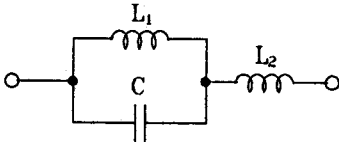
3. 새로운 하이브리드형 능동 필터

현재까지 발표된 하이브리드형 능동필터의 구성은 주로 여러개의 병렬로 연결된 수동 필터를 사용한다. 이러한 구성의 하이브리드

농동 필터는 전원측 주파수변화(±3%)와 수동 필터의 parameter 변화에 따라서 해당 차수의 고조파를 효과적으로 제거하기 힘든 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 수동 필터의 주파수 변화에 따른 임피던스 sensitivity를 감소시키면 전원측 주파수에 대한 임피던스가 감소하므로 결국은 시스템의 성능을 떨어뜨리게 된다. 그림 2. (a)는 종래의 수동필터 구성을 나타낸다.



(a) 종래 수동 필터부의 구성



(b) 새로운 수동 필터부의 구성

그림 2. 하이브리드 농동필터의 수동필터부 구성

본 연구에서는 이상과 같은 문제점을 해결하기 위하여 그림 2. (b)와 같은 수동 필터를 농동 필터와 직렬로 연결한 새로운 하이브리드형 농동필터를 구성하였다.

그림 2.의 회로에 대하여 임피던스를 구해보면

$$Z_f(j\omega) = \frac{jL_1 + L_2 \omega \cdot [1 - \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \omega^2]}{1 - L_1 C \omega^2} \quad (4)$$

$$L_1 C = \frac{1}{\omega_o^2} \quad (5)$$

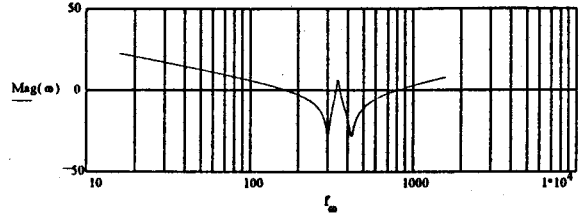
$$\frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} C = \frac{1}{n^2 \omega_o^2} \quad (6)$$

이 때, n은 제거하고자하는 고조파의 차수.

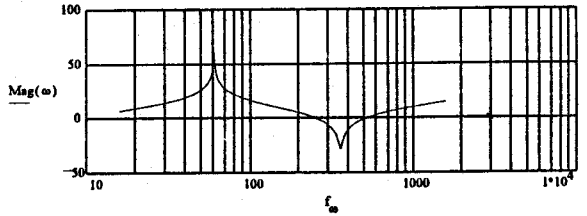
본 논문에서 제안하는 수동필터부의 구성은 기본과 주파수에 대해서는 높은 임피던스를 가지며, 제거하고자 하는 두개의 저차 고조파 성분의 중간 주파수 성분에 대해 임피던스를 최소화 하여 그 양쪽의 홀수 고조파 성분을 최소화하는 방식이다. 즉, 본 논문에서는 수동필터부에서 제거하고자하는 저차 고조파 성분은 5차, 7차 고조파 성분으로 하여 이 두개의 홀수 고조파를 최소화하기 위하여 그 중간 주파수 성분인 6차 고조파 성분에 대하여 임피던스가 최소가 되도록 하였다.

그림 2. (b)에서 보는 바와 같이 L1 및 C는 전원 주파수에 대한 임피던스를 최대화하는 성분이며 L2 및 C는 제거하고자하는 홀수 고조파들의 중간 고조파 성분에 대하여 임피던스가 최소가 되도록 하는 성분이다.

그림 3.의 (a)(C1과 C2 : 368μF, L1 : 0.76mH, L2 : 0.39mH)와 (b)(C : 368μF, L1 : 19mH, L2 : 0.55mH)는 각각 종래의 수동필터와 제안하는 수동필터와의 주파수에 따른 임피던스의 크기를 보여주는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 기본과 성분에 대한 임피던스는 본 논문에서 제안하는 필터의 경우 매우 크게 나타남을 알 수 있으며 제거하고자하는 고조파 성분의 임피던스도 sensitivity의 영향에 훨씬 안정화되어 있음을 알 수 있다. 그러므로, 종래의 하이브리드 농동필터에 비해서 우수한 특성을 나타내며 농동필터부의 정격을 아주 낮은 수준으로 할 수 있다.



(a) 종래 수동필터의 주파수 대 임피던스 특성



(b) 새로운 수동필터의 주파수 대 임피던스 특성

그림 3. 하이브리드 농동필터의 주파수 대 임피던스 특성

4. 주회로 및 제어회로의 구성

본 논문에서 제안하는 하이브리드 농동필터의 전체 시스템은 그림 4.와 같이 주회로 및 제어부로 나누어진다.

전류지령치 i_{ref} 는 60Hz 노치필터(Notch filter)를 통해 얻어지며 이 지령치는 보상전류 i_c 와 비교되어 오차신호를 발생한다. 그러나, i_c 에는 기본과 성분이 완전히 없어지지 않는 문제 때문에 i_{ref} 와 i_c 의 오차신호에도 기본과 성분이 포함되게 되고 이로

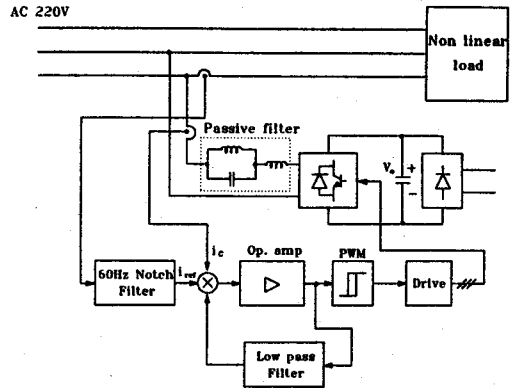


그림 4. 새로운 하이브리드 농동필터의 전체 시스템

인하여 제어 루프상에서 이 오차를 감소시키기 위하여 농동필터의 출력에 기본파가 발생되게 한다. 그러나, V_o 전압은 V_s 전압보다 훨씬 적고 $Z_f(\omega_o)$ 는 크기때문에 결과적인 PWM 파형은 비선형모드로 동작하여 부하의 고주파 전류 보상 기능이 감소되므로 종래의 시스템에서는 정밀한 방식으로 기본과 보상 신호를 공급해 주어야 한다. 그러나, 본 시스템에서는 저역 필터(Low pass filter) feedback 회로가 추가함으로써 이러한 문제점 해결하였다.

5. 실험 결과

실험은 입력 AC220의 정격 500W의 하이브리드 농동필터를 구성하

여 그 결과를 검토하였다. 이 때, 각각의 parameter 값들은 임피던스 시뮬레이션의 경우와 같다.

그림 5.는 하이브리드 능동필터가 동작하지 않는 경우의 입력전압과 전류 및 그 때의 고조파 분석도를 나타낸 그림이며 그림 6.은 하이브리드 능동필터가 동작하는 경우의 부하전류, 보상전류, 입력전류 및 입력전류의 고조파 분석도를 나타내고 있다. 그림 7.은 C, L1 병렬회로에 인가되는 전압과 L2에 인가되는 전압 및 각각의 고조파 분석도를 나타내는 그림이다. 그림 6.에서 보는 바와 같이 부하전류와 보상전류의 합으로 입력전류가 구성되고 있고 입력전류는 정현파만을 포함하고 있음을 알 수 있다. 그림 7.의 C, L1 병렬회로에 인가되는 전압은 거의 기본파 성분으로 이루어지며 L2에 인가되는 전압은 낮은 정격을 가지며 전 고조파 성분에 대하여 필터링하고 있으나 주파수 증가에 따른 임피던스 성분의 증가로 인하여 전 구간에 걸쳐 미소의 고조파 성분이 나타남을 알 수 있다.

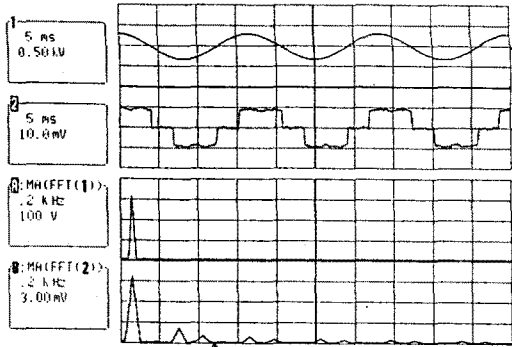


그림 5. 하이브리드 능동필터가 동작하지 않는 경우의 입력전압과 전류 및 고조파 분석도(500V/div, 1A/div)

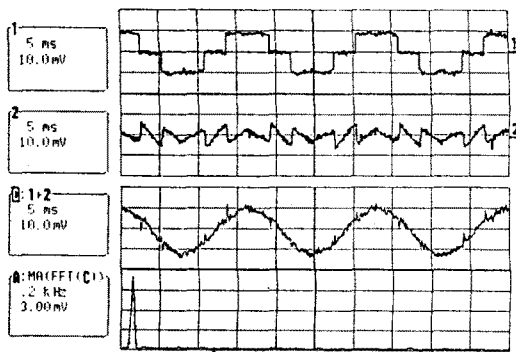


그림 6. 하이브리드 능동필터가 동작하는 경우의 부하전류, 보상전류, 입력전류 및 입력전류의 고조파 분석도 (표시치x10V/div)

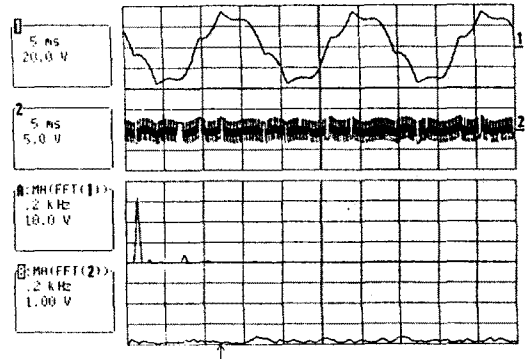


그림 7. C, L1 병렬회로에 인가되는 전압과 L2에 인가되는 전압 및 각각의 고조파 분석도(1A/div)

6. 결론

본 논문에서는 종래에 사용되었던 하이브리드 능동필터의 수동필터부를 새로이 개선하여 기능면에서 더욱 우수한 새로운 하이브리드 능동필터에 대하여 설명하였다.

본 논문에서 제안하는 하이브리드 능동필터의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수동필터부의 기본파와 주파수에 대한 임피던스는 증가되고, 고조파 성분에 대한 임피던스는 감소한다.
- 2) 능동필터부의 정격을 더욱 감소시킬 수 있다.
- 3) 제어 회로의 구성에 있어 간단한 방식으로 기본파 성분에 대한 능동필터부의 영향을 최소화 할 수 있다.

참고문헌

- [1] F.Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, "A Novel Harmonic Power Filter," PESC, pp.1151-1159., 1988
- [2] M. Rastogi, N. Mohan and A.A. Edris, "Hybrid-Active Filtering of Harmonic Currents in Power Systems," accepted for presentation at the 1995 PES Winter Power Meeting and publication in Transactions of PES.
- [3] N. Mohan, T.M. Undeland and W.P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications and Design, John Wiley & Sons, 1989.
- [4] N. Mohan, M. Rastogi and A.A. Edris, "Filtering of harmonic current and damping of resonances in power systems with a hybrid active filter", APEC '95., pp607-612, 1995