

Double Tuned Active Filter 기능을 갖는 Single Tuned Active Filter

金燦起[†], 梁炳模^{*}, 鄭吉朝^{**}

Single-Tuned Active Filter with Function of Double-Tuned Active Filter

Chan-Ki Kim, Byeong-Mo Yang, and Gil-Jo Jung

요 약

본 논문은 Single Tuned Filter를 사용하여 11차와 13차 고조파를 동시에 제거하는 Hybrid 능동필터를 제안하였다. 제안된 Hybrid 능동필터는 Hybrid 능동필터의 Detuning 보상능력을 이용한 것으로, 하나의 필터를 이용하여 2개 이상의 고조파를 제거할 수 Topology를 보여주고 있다. 본 논문에서 다루는 Hybrid 능동필터는 Detuning 보상능력을 이용한 것이기 때문에 인버터 출력전압을 최적으로 설계하는 것이 필수적이다. 본 논문은 수동필터 부분의 커패시터 용량과 HVDC 시스템에서 발생하는 고조파 전류의 크기 그리고 수동필터의 공진주파수와 제어모드에 따라 인버터 출력전압이 변화함을 확인하였고, 이에 따른 최적의 인버터 전압을 구하였다.

ABSTRACT

This paper deals with the hybrid active filter which can reduce the 11th/13th harmonics in AC network by using the single tuned filter. Since the proposed algorithm uses the detuning compensation capability of the filter, the output voltage of the proposed active power filter is changed according to the capacitance of capacitors, magnitude of harmonic current, resonance frequency and control mode. In this paper, the control characteristics and the design of hybrid active filter is investigated. A new hybrid active filter with new algorithm, which is an active filter with single tuned filter instead of double tuned filter, is proposed.

Key Words : Harmonics, Single Tuned Filter, Hybrid Active Filter

1. 서 론

그림 1은 12-펄스용 HVDC시스템에 적용되는 전력 필터를 보여주는 것으로 그림 1 (a)는 수동필터, 그림 1 (b)는 능동필터 그리고 그림 1 (c)는 Hybrid 능동필

터를 보여주고 있다. 일반적으로 수동필터는 시간이 지남에 따라 열화현상 등으로 인하여 필터 파라미터가 변동하고, 정확히 알지 못하는 계통의 임피던스와 연동하여 계통의 안정도를 떨어뜨리는 단점을 가지고 있는 반면, 능동필터는 스위칭 소자를 이용하여 시스템의 고조파를 제거하는 방식이기 때문에 수동필터가 가지고 있는 파라미터에 대한 민감도 문제를 극복할 수 있는 장점이 있으나, 소자의 한계와 경제성 그리고 EMI(Electro-Magnetic Interference) 문제와 높은 스위칭 손실을 고려하면, 실제 시스템에 적용하는 문제는 많은 제한이 있는 것도 사실이다. 그림 1(c)에서 보여

[†]교신저자 : 정희원, 전력연구원 선임연구원

E-mail : ckkim@kepri.re.kr

^{*}정희원, 전력연구원 차세대전력기술그룹 선임보조연구원

^{**}정희원, 전력연구원 차세대전력기술그룹 그룹장

접수일자 : 2004. 3. 11 1차 심사 : 2004. 4. 30

2차 심사 : 2004. 7. 27 3차 심사 : 2004. 8. 24

심사완료 : 2004. 9. 10

주는 Hybrid 능동필터는 위에서 설명한 능동필터와 수동필터의 장점을 가지고 있는 방식으로, 대용량 컨버터의 필터로서 최선의 방법으로 평가받고 있다. 또한, 이러한 Hybrid 능동필터는 특정 고조파에서 낮은 임피던스를 가지고 있으며, 기본 주파수에서는 필터의 임피던스가 매우 큰 값을 가지고 있기 때문에, 교류전원측에서 유입되는 전류는 별로 없으며 제거하고자 하는 특정 고조파 주파수에서도 필터가 계통으로 전류를 주입하고, 고조파 전압은 영(零)이 되기 때문에 소모 전력이 작다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 그림 1(c)에서 보여주는 Hybrid 능동필터를 기본으로 하여, 능동필터의 Detuning 보상능력을 이용하여 2개의 고조파를 1개의 필터로 제거할 수 있는 새로운 필터 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. Hybrid 능동필터의 설계

2.1 Hybrid 능동필터의 개요

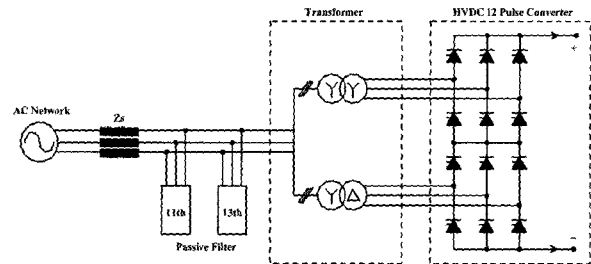
일반적으로 전력계통에서 전력필터의 역할은 다음과 같은 3가지로 요약될 수 있다.

- 1) 전력계통에서 고조파 제거
- 2) 전력계통에 무효전력공급
- 3) 전력계통의 과도상태에서 안정도향상

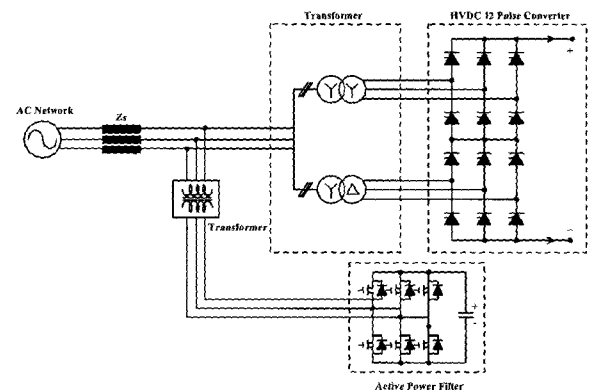
이러한 역할은 수동필터나 능동필터에서 모두 가능하나 각각의 역할에 따라 필터의 모델링이 달라질 수 있기 때문에 필터의 최우선 목표인 고조파 제거목적에서 Hybrid 필터를 모델링할 필요가 있다. 그림 2에서 보여주는 Hybrid 능동필터는 기존의 수동필터를 변압기를 이용하여 능동필터로 표현되는 전력변환기와 결합한 전형적인 Hybrid 능동필터로 이러한 Hybrid 능동필터는 1차적으로 능동필터의 가격을 낮추기 위해서 변압기를 이용하여 전력변환기의 전압을 낮추었으며, 수동필터의 Detuning을 보정하기 위하여 제안된 것이다. 그리고 Hybrid 능동필터는 고조파를 영(零)이 되도록 제어동작을 하기 때문에 전력계통의 과도상태에서 안정도를 향상시키는 동작을 한다.

2.2 Hybrid 능동필터의 모델링

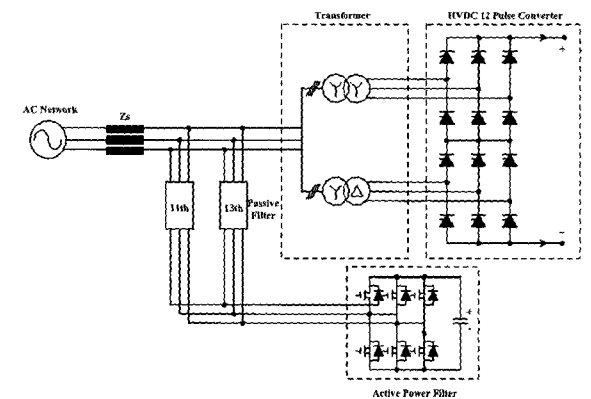
그림 3은 그림 2에서 보여주는 Hybrid 능동필터의 등가회로를 보여주고 있다. 그림 3은 계통의 전원은 고려하지 않고 계통의 임피던스만을 고려한 등가회로로 이를 수학적으로 분석한 모델링은 식 (1)과 같다.^[3]



(a) 수동필터



(b) 능동필터



(c) Hybrid 능동필터

그림 1 전력필터의 종류
Fig. 1 Power Filters

식 (1)에서 우리가 알 수 있는 것은 Hybrid 능동필터에 존재하는 수동필터의 Z_f 가 정확히 특정 고조파에 동조(Tuning)된다면, 즉, 특정 고조파에 대하여 Z_f 의 임피던스가 영(零)이 되면, 능동필터의 출력전압 V_o 는 작아진다는 사실을 알 수 있다. 그리고 Hybrid 능동필터가 적용된 계통의 계통 임피던스 Z_s 가 작다면, 다시

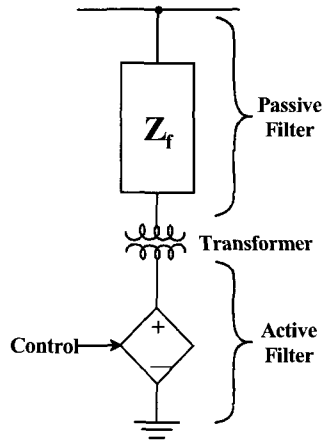


그림 2 Hybrid 능동 필터의 개념도
Fig. 2 Hybrid Active Filter

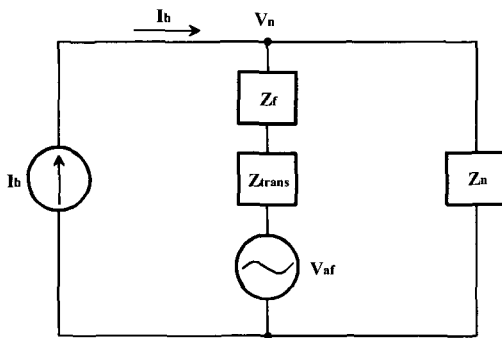


그림 3 Hybrid 능동필터의 등가회로
Fig. 3 Equivalent Circuit of Hybrid Active Filter

$$V_{af} = -I_h [Z_f + Z_{trans}] + V_n [1 + \frac{Z_f + Z_{trans}}{Z_n}] \quad (1)$$

여기서 Z_f : 필터 임피던스
 Z_n : 계통 임피던스
 Z_{trans} : 변압기 임피던스
 I_h : HVDC 컨버터에서 발생하는 n차 고조파 전류

말해서, 계통이 크다면, 능동필터의 출력전압 V_{af} 는 작아진다는 사실을 알 수 있다.

Hybrid 능동필터의 제어변수를 고조파 전류 I_h 으로 할 것인지 아니면, 고조파 전압 V_n 으로 할 것인지에 따라서도 능동필터의 출력전압 V_{af} 가 변한다는 사실을 알 수 있다. 구체적으로 설명하면, 만약 Hybrid 능동필터가 전압제어를 행하면, V_n 이 영(零)이 되고, V_n 이 영

(零)이라는 것은 전체 전압 고조파가 제거되었다는 의미가 되며 이때에 V_{af} 는 다음과 같이 된다.

$$V_{af} = -I_h [Z_f + Z_{trans}] \quad (2)$$

V_{af} 는 수동필터의 임피던스인 Z_f 에 따라서 비례적으로 된다. 또한, Hybrid 능동필터가 전류제어를 행하면, I_h 이 영(零)이 되고, I_h 이 영(零)이라는 것은 전체 전류 고조파가 제거되었다는 의미가 되며 이때에 V_{af} 는 다음과 같이 된다.

$$V_{af} = V_n [1 + \frac{Z_f + Z_{trans}}{Z_n}] \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서 Hybrid 능동필터의 제어방식을 선정함에 있어서 계통의 임피던스도 V_{af} 를 결정짓는 중요한 인자가 된다는 사실이다. 예를 들어, 아크로와 같이 부하 임피던스가 비선형적으로 아주 빈번하게 바뀌는 곳에서는 전압제어방식 보다는 전류제어방식이 어떤 면에서 유리할 수 있다.

한편, Hybrid 능동필터의 특징 중에 하나는 필터 파라미터의 Detuning에 대한 보상기능을 갖는 것이다. 즉, 수동필터 Z_f 가 정확히 Tuning되지 않거나, 또는 Z_f 가 열화현상에 의해서 공진점이 변화되더라도, 수동필터에 연결되어 있는 능동필터의 제어동작에 의하여 이러한 파라미터 Detuning이 보상될 수 있다는 점이다.^[3]

3. 제안된 Single Tuned Hybrid 능동필터 특성

2장에서 논한 Hybrid 능동필터의 Detuning 보상능력은 수동필터의 파라미터에 대한 Detuning을 목적으로 하였으나, 본 논문에서는 능동필터의 Detuning 보상능력을 확장하여, 그림 4에서 보는 바와 같이 12차 필터 1개를 이용하여 11차와 13차 고조파를 동시에 제거할 수 있는 능동필터를 제안하였다.

제안된 능동필터는 그림 4와 같이 12차 고조파에 공진점을 둔 수동필터와 전압원을 기반으로 하는 능동필터로 구성하고, 능동필터의 Detuning 보상능력을 이용하여 12차 필터가 11차와 13차 고조파 쪽으로 Detuning 된 것으로 가정하여 제어동작을 하는 경우이다.

그림 5에서 S-로 표현된 Detuning Rate는 12차 필터가 11차 필터 쪽으로 Detuning된 것을 표현하고, S+로 표현된 Detuning Rate는 12차 필터가 13차 필터 쪽으로 Detuning된 것을 표현한다.

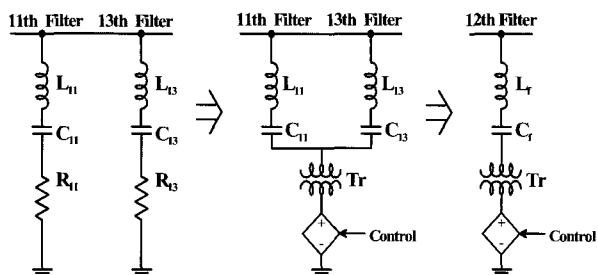


그림 4 제안된 Single Tuned Filter
Fig. 4 Proposed Single Tuned Filter

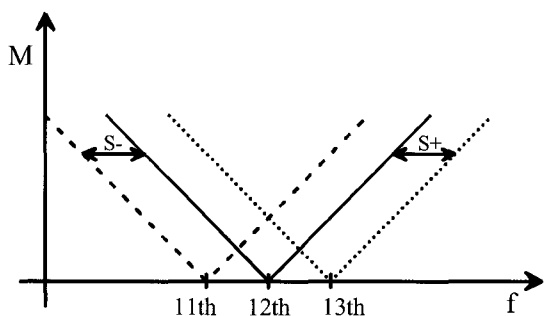


그림 5 12차 필터의 Detuning 특성
Fig. 5 Detuning Characteristics of 12th Filter

이러한 Detuning Rate가 생기면 식 (2)에서 보는 바와 같이 특정고조파에서 Z_f 가 영(零)이 되지 않고, 어떤 임피던스 값을 가지기 때문에 능동필터 전압 V_{af} 값은 커지게 된다. 그림 4에서 보여주는 Single Tuned Hybrid Active Filter는 그림 5에서 나타낸 Hybrid 능동필터의 Detuning 보상능력을 이용한 것이기 때문에 Hybrid 능동필터의 Detuning보상에 따른 불필요하게 인버터 전압이 증가할 수 있기 때문에 최적의 인버터 전압을 설계할 방안이 도출 되어야 한다.

그림 4에서 보여주는 제안된 Hybrid 능동필터의 인버터 전압 값을 결정하는 것은 다음과 같은 4가지 요소이다.

- 1) 수동필터의 커패시터 값
- 2) 수동필터의 튜닝된 공진 점
- 3) 고조파 전류의 크기
- 4) 제어방식

제안된 Hybrid 필터를 설계할 때 필터가 특정 주파수에서 공진 점을 갖도록 하게 위해서는 커패시터 값을 크게 하고, 인덕턴스 값을 작게 하는 방법과 커패시터 값을 작게 하고 인덕턴스 값을 크게 하는 방법이 있을 수 있다. 이러한 각각의 경우에 대한 수동필터의 임피던스 궤적은 그림 6과 같다. 즉, 커패시터의 값이

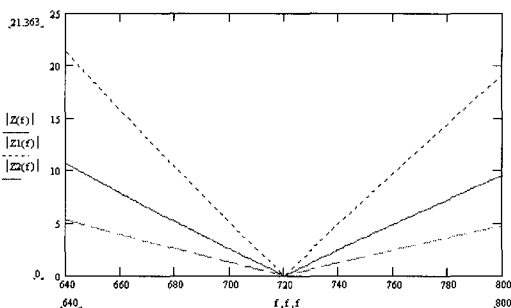


그림 6 커패시터 값의 변화에 따른 수동필터의 임피던스 궤적
Fig. 6 Impedance of Passive Filter According to Variable Capacitor Value

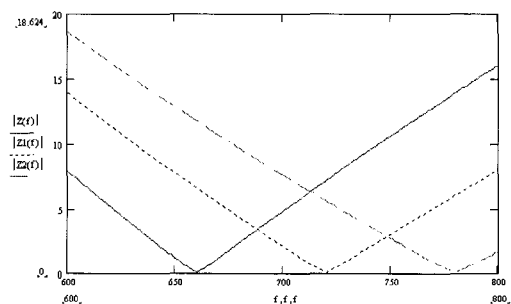


그림 7 공진주파수의 변화에 따른 수동필터의 임피던스 궤적
Fig. 7 Impedance of Passive Filter According to Variable Resonance Frequency

커지면, 임피던스 궤적이 낮게 유지되고, 커패시터의 값이 작아지면 임피던스 궤적이 높게 유지 되므로, 커패시터 값을 크게 선정함으로써 Hybrid 능동필터의 인버터 전압을 낮출 수 있다.

두 번째로 검토되어야 하는 것은 제안된 Hybrid 능동필터의 튜닝된 공진 점으로써 그림 7과 같이 같은 정격의 커패시터를 가진 경우에(같은 무효전력공급) 공진점이 11차, 12차 그리고 13차에 있는 경우의 임피던스 궤적을 보여주고 있다. 그림 7에서 유추해 볼 수 있는 것은 11차 주파수에 공진 점을 가진 경우에는 13차 주파수에 해당하는 지점의 임피던스와 13차 고조파 전류의 합이 인버터 출력전압이 되고, 13차 주파수에 공진 점을 가진 경우에는 11차 주파수에 해당하는 지점의 임피던스와 11차 고조파 전류의 합이 인버터 출력전압이 된다. 또한, 12차 주파수에 공진 점을 가진 경우를 고려하면, 11차와 13차 주파수에 해당하는 지점의 임피던스와 각각의 고조파 전류 곱에 의해서 인버터 출력전압이 나타나기 때문에 튜닝된 공진주파수가

인버터 출력전압의 함수가 된다. 식 (4)~(9)는 위에서 설명한 내용을 수학적으로 표현한 것으로 식 (1)을 기준으로 하여 전압제어를 하는 경우에는 V_n 이 영(零)이 되고 전류제어인 경우에는 I_n 이 영(零)이 되기 때문에 식 (4)~(6)은 전압제어인 경우에 능동필터의 공진주파수에 따른 인버터 전압크기에 대한 수식을 보여주고 있는 것으로, 식 (4)는 Hybrid 능동필터의 수동필터를 12차에 튜닝한 경우의 수학적 모델링이며, 식 (5)은 수동필터를 13차에 튜닝한 경우이고, 식 (6)은 11차에 튜닝한 결과를 보여주고 있다.

$$V_{af} = -I_{11} \times [Z_{12/11} + Z_{trans}] - I_{13} \times [Z_{12/13} + Z_{trans}] \quad (4)$$

$$V_{af} = -I_{11} \times [Z_{13/11} + Z_{trans}] \quad (5)$$

$$V_{af} = -I_{13} \times [Z_{11/13} + Z_{trans}] \quad (6)$$

마찬가지로, 식 (7) ~ 식 (14)는 전류제어를 기본으로 한 것으로 식 (7)은 수동필터를 12차에 튜닝한 것이고, 식 (8)은 수동필터를 13차에 튜닝한 수학적 결과를 보여주고, 식 (9)는 수동필터를 11차에 튜닝한 수학적 결과를 보여주고 있다.

$$V_{af} = V_{11} \times [1 + \frac{Z_{12/11} + Z_{trans}}{Z_n}] + V_{13} \times [1 + \frac{Z_{12/13} + Z_{trans}}{Z_n}] \quad (7)$$

$$V_{af} = V_{11} \times [1 + \frac{Z_{13/11} + Z_{trans}}{Z_n}] \quad (8)$$

$$V_{af} = V_{13} \times [1 + \frac{Z_{11/13} + Z_{trans}}{Z_n}] \quad (9)$$

세 번째로, 그림 7과 식 (4)~(9)로부터 추론할 수 있는 또 하나의 사실은 고조파의 크기에 따라 인버터 전압이 변하기 때문에 최적의 인버터 전압을 얻기 위해서는 최적의 필터 공진 점을 구해야 한다는 사실이다.

네 번째로, 인버터의 전압을 결정해주는 요소는 Hybrid 능동필터의 제어모드으로써, 식 (4) ~ 식 (9)에서 보는 바와 같이 전압제어를 할 것이냐 아니면, 전류제어를 할 것이냐에 따라 인버터 전압이 달라지기 때문에 제어모드도 인버터전압을 결정하는 중요한 요소가 된다. Hybrid 능동필터는 일반적으로 그림 8과 같이 삼각파 비교방식을 이용하여 구동시키는데, 삼각파 비교 PWM인버터는 식 (10)와 같이 Bessel Function Harmonic을 유발하기 때문에 캐리어 주파수와 기준 주파수의 선택이 계통의 특성에 영향을 미칠 수 있다.

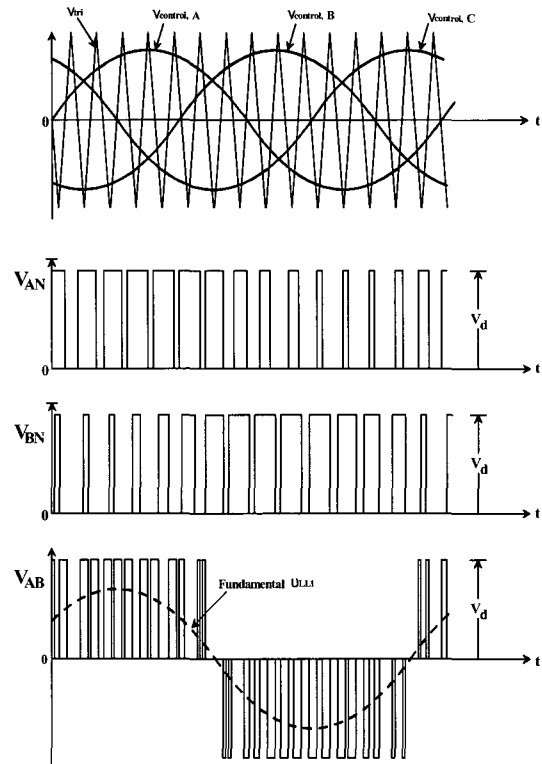


그림 8 Hybrid 능동필터의 PWM 방식(SPWM)
Fig. 8 SPWM(Sinusoidal PWM) of Hybrid Active Filter

$$V(t) = m \frac{V_d}{2} \sin(\omega_s t + \phi) + \text{Bessel Function Harmonics}$$

$$\text{Bessel Function Harmonics} = M \omega_c \pm N \omega_s \quad (10)$$

여기서, $V(t)$ 는 PWM 인버터의 순시 출력전압,
 m 은 Modulation Index,
 V_d 는 인버터의 DC전압,
 ω_c 는 변조 주파수,
 ω_s 는 기준 주파수,
 $M + N$ 는 홀수 정수,
 M, N 는 정수,
 ϕ 는 출력의 Phase Shift.

또한, Hybrid 능동필터의 제어 알고리즘은 2개로 구분될 수 있는데, 첫 번째는 특정고조파(그림 9에서는 11차와 13차)를 영(零)으로 만드는 알고리즘과 기본파를 제외한 나머지 모든 고조파를 제거하는 방식으로 분류될 수 있는데, 식 (10)에서 보여주는 바와 같이 PWM인버터는 비-특성고조파를 유발할 수 있기 때문에 특정고조파를 만들 영으로 만드는 알고리즘을 선정해야 한다.

4. 시뮬레이션을 이용하여 제안된 Single Tuned Hybrid 능동필터의 결과 검토

그림 9는 3장에서 설명한 것과 같이 11차와 13차 고조파와 같이 특정 고조파를 제거하는 Hybrid 능동필터의 제어 알고리즘을 보여주고 있다. 그림 9는 능동필터 A상의 스위칭 소자에 전압 명령신호를 발생시키기 위해 사용된 알고리즘을 나타낸다.

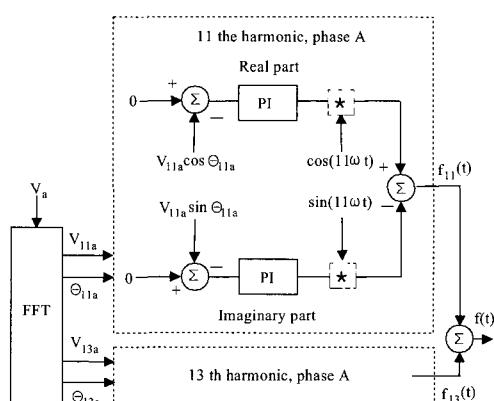
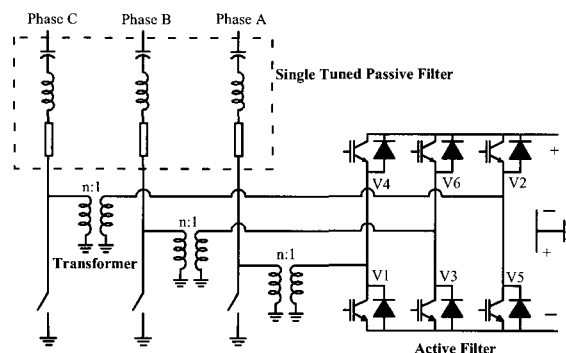


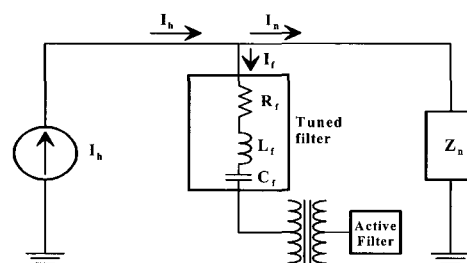
그림 9 Hybrid 능동필터의 제어 알고리즘
Fig. 9 Control Algorithm of Hybrid Active Filter

계통의 A상에서 측정된 전압 V_a 를 FFT(Fast Fourier Transform)의 입력으로 하여 11차고조파 (V_{11a} , θ_{11a})와 13차고조파(V_{13a} , θ_{13a})의 크기와 위상을 추출한다. 제어시스템은 고조파전압성분을 PI제어기에 의해서 영으로 제어한다. 두개의 PI제어기에서의 출력은 시간영역의 양으로 변환되고, 그 다음에 더해져서 $f_{11}(t)$ 의 전압형태로 된다. 마찬가지로 그림 9의 아래 부분에서도 13차 고조파를 제거하기 위한 전압명령 $f_{13}(t)$ 를 계산하기 위한 제어시스템을 나타내었다. 마지막으로 이들 두 전압명령을 더해 A상의 전압명령 $f(t)$ 가 된다. 이러한 알고리즘은 B상과 C상에서도 전압명령을 계산하기 위해 사용되어진다. 다시 말해서 그림 9에서 보여주는 제어 알고리즘은 측정된 전압으로부터 11차와 13차 고조파의 크기와 위상을 FFT로 분리하고, 분리된 각각의 고조파 성분이 영(零)이 되도록 Hybrid 능동필터를 제어하는 방식이다. 그림 10(a)는 Hybrid 능동필터의 구성도이고, 그림 10(b)는 시뮬레이션을 위한 등가 모델이다.

표 1은 그림 10(b)에서 보여주는 등가모델을 시뮬레이션하기 위해서 등가모델에 주입하는 11차와 13차 고



(a) Hybrid 능동필터



(b) 제안된 Hybrid 능동필터를 시뮬레이션하기 위한 모델

그림 10 시뮬레이션을 위한 Hybrid 능동필터의 등가모델
Fig. 10 Model of Hybrid Active Filter for Simulation

조파 그리고 23차와 25차 고조파를 보여주고 있다. 표 2도 그림 10(b)에서 보여주는 등가 모델을 시뮬레이션을 하기 위한 파라미터로서 계통임피던스인 Z_n 의 실제적인 값을 SCR(Short Circuit Ratio : 345[kV]와 1000[MW]기준)값에 따라 나타낸 것이다. 표 1과 표 2의 파라미터와 그림 10의 모델을 이용하여 시뮬레이션한 결과는 그림 11 ~ 그림 15에 나타나 있다.

그림 11은 고조파의 크기에 따라 최적의 인버터 전압이 변하는 추이를 보여주는 시뮬레이션 파형이다. 그림 11(a)는 11차 고조파의 크기와 13차 고조파의 크기가 같은 경우 공진 점을 변화시킴에 따라 Hybrid 능동필터의 인버터 출력 값을 보여주고 있는 것으로, 그림 11(a)의 경우를 보면, 780[Hz]에서 최소의 인버터 출력전압을 갖게 되므로 수동필터의 공진 점을 780[Hz]로 하는 것이 최적의 선택이다. 또한 그림 11(b)는 표 1에서 보는 바와 같이 11차 고조파의 크기가 13차 고조파의 크기보다 큰 값을 갖는 경우를 모의한 것으로 그림 11(a)와 다르게 660[Hz]근방에서 최소의 Hybrid 능동필터의 인버터 출력전압 값을 갖는다는 사실을 알 수 있다.

표 1 HVDC Convert의 고조파 분석($IHD_h = \frac{X_h}{X_1}$)

Table 1 Harmonic Analysis of HVDC Converter

Harmonic Order	Amplitude[A]	IHD[%]
1	2684.58	100.00
11	95.48	3.56
13	53.16	1.98
23	24.46	0.91
25	20.02	0.75

표 2 시뮬레이션에 이용된 SCR 파라미터

Table 2 SCR(Short Circuit Ratio) Parameter for Simulation

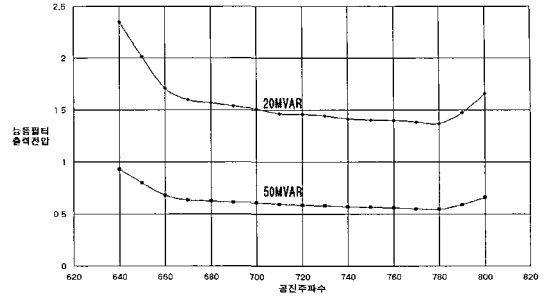
Parameter		Value
SCR = 2.5	R_L	4.15 [Ω]
	L_L	0.79 [H]
SCR = 10	R_L	1.04 [Ω]
	L_L	0.2 [H]

$$(SCR = \frac{Short\ Circuit\ Capacity}{DC\ Power(P_{dc})})$$

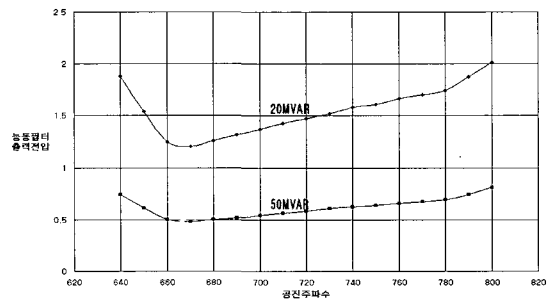
그리고 그림 11(c)는 13차 고조파의 크기가 11차 고조파의 크기보다 큰 경우를 모의 한 것으로 이 경우에도 780[Hz]에서 인버터 최소 전압을 갖는 것을 알 수 있으며, 그림 11(a)와 비교해서는 더 가파른 기울기를 갖는다는 사실을 알 수 있다. 또한 그림 11에서는 Hybrid 능동필터의 커패시터 값을 20[MVar]와 50[MVar]로 했을 경우의 인버터 출력전압을 구하였는데, 그림 6에서 나타난 결과와 같이 커패시터의 크기에 따라 Hybrid 능동필터의 인버터의 출력전압이 결정된다는 사실을 알 수 있다. 그림 11에서 보여주는 결과는 식 (9)~(11)에서 보여주는 Hybrid 능동 필터의 임피던스 값의 차이 때문에 발생하는 것으로 필터의 임피던스가 공진점을 기준으로 좌우가 정확히 대칭이 되지 않기 때문에 생기는 결과이다.

그림 12는 커패시터의 용량이 20[Mvar]인 경우에 그림 11에서 보여준 결과를 종합한 것으로 12차 공진 점(720[Hz])에서는 인버터의 출력전압이 고조파의 크기에 상관없이 같게 나오게 된다.

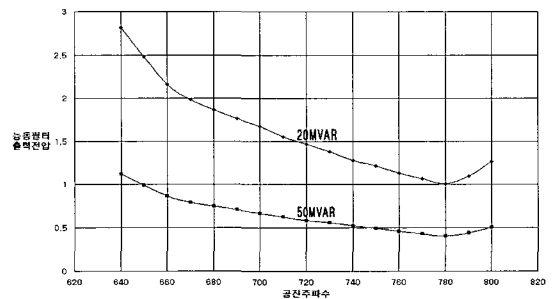
그림 13의 경우는 11차 고조파가 13차 고조파 보다



(a) 11차 고조파와 13차 고조파가 같은 경우



(b) 11차 고조파가 크고 13차 고조파가 작은 경우



(c) 13차 고조파가 크고 11차 고조파가 작은 경우

그림 11 고조파의 크기에 따른 Hybrid 능동필터의 출력전압 (SCR=2.5, 전압제어)

Fig. 11 Output Voltage of Hybrid Active Filter with Respect to Harmonics Magnitude

크고, SCR이 2.5인 경우를 모의한 것으로, 제어방식에 따른 Hybrid 능동필터의 출력전압을 보여주고 있는 것으로 이 경우에는 전압제어 방식이 전류제어 방식 보다 미세하게 작은 출력전압을 갖는다.

그림 14는 Hybrid 능동필터가 전류제어를 행하고 있는 경우에 SCR의 변화에 따른 인버터의 출력전압의 크기를 보여주고 있다. Hybrid 능동필터는 전류제어와 전압제어를 선택할 수 있는데, 식 (8)과 같이 전류제어

를 행하는 경우에는 I_n 항은 영(零)이 되고, V_n 항을 남아 있기 때문에 전류제어를 하는 경우에는 인버터의 출력전압이 계통의 임피던스 즉, SCR(Short Circuit Ratio)에 따라 변화된다. 그림 14에서 SCR의 크기가

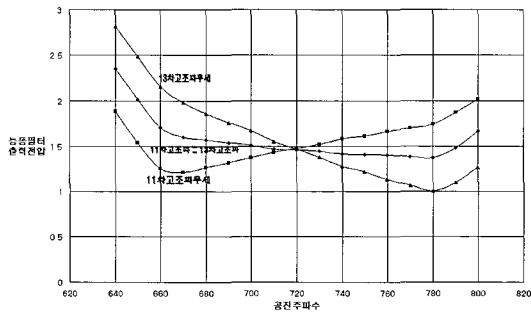


그림 12 11차고조파와 13차고조파의 비교로 본 능동필터의 출력전압 (20MVAR, SCR=2.5)

Fig. 12 Output Voltage of Hybrid Active Filter between 11th Harmonic and 13th Harmonic

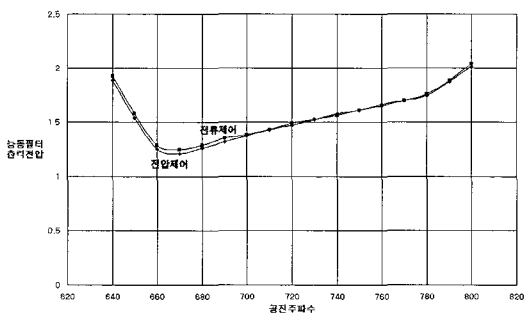


그림 13 제어방식에 따른 Hybrid 능동필터의 출력전압

Fig. 13 Output Voltage of Hybrid Active Filter According to Control Method

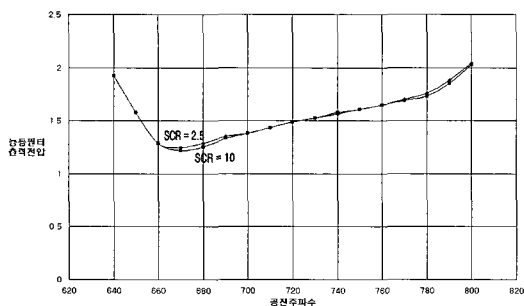
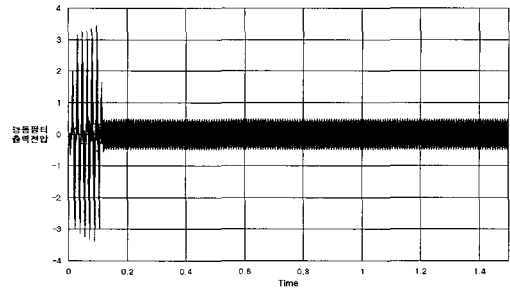
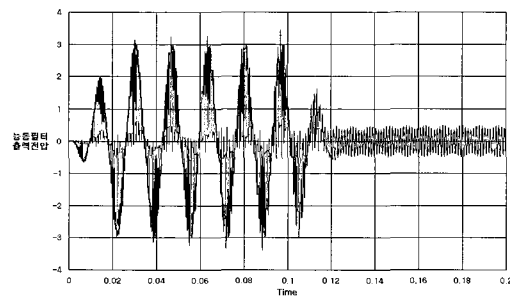


그림 14 SCR이 변화한 경우의 능동필터의 출력전압 (20MVAR, 전류제어)

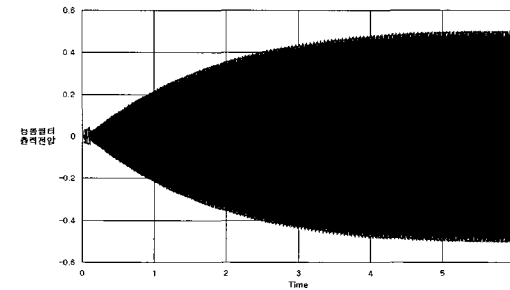
Fig. 14 Output Voltage of Hybrid Active Filter According to SCR Variation



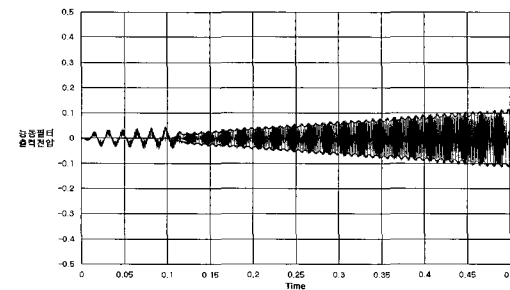
(a) 전압 제어



(b) (a)를 확대한 파형



(c) 전류 제어



(d) (c)를 확대한 파형

그림 15 제어모드에 따른 능동필터의 출력전압 (20MVAR, SCR=2.5)

Fig. 15 Output Voltage of Hybrid Active Filter According to Control Mode

큰 경우에는 즉, 계통의 크기가 큰 경우에는 인버터의 출력전압이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림 15는 제어모드에 따른 능동필터의 동특성을 보여주고 있는 것으로 계통의 고조파를 제거하기 위하여 hybrid 능동필터를 투입한 후에 정상상태까지의 파형을 나타낸 것입니다. 그림 15에서 나타낸 바와 같이 Hybrid 능동필터의 제어모드를 전압제어로 하는 경우에는 과도상태에서 빠른 특성을 보이거나 높은 인버터 출력을 필요로 하는 반면, Hybrid 능동필터의 제어모드를 전류제어로 하는 경우에는 과도특성이 느린 반면, 낮은 인버터 출력이 필요하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 Single Tuned Hybrid Active Filter로 2개의 고조파를 동시에 제거하는 Hybrid 능동 필터를 제안하였다. 제안된 능동필터의 최적 전압을 얻기 위해서는 여러 파라미터를 고려해야하는데, 본 논문에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫 번째는 수동필터의 커패시터의 크기가 능동필터의 출력전압의 변수이기 때문에 수동필터의 커패시터가 커짐에 따라 능동필터의 출력전압이 낮아진다.

두 번째로 최적의 인버터 전압을 얻기 위해서 수동필터에서 튜닝되는 공진점은 고조파 전류의 크기에 따라 변화한다.

세 번째로 Hybrid 능동필터를 전압제어로 하는 경우에는 과도상태에서 빠른 특성을 보이거나 높은 인버터 출력을 필요로 하는 반면, Hybrid 능동필터의 제어모드를 전류제어로 하는 경우에는 과도특성이 느린 반면, 낮은 인버터 출력으로도 가능하다.

본 논문에서 제안하는 방식은 그동안 문헌에서 보고되었던 일반적인 Hybrid 능동필터의 다른 기능을 도출한 결과로서 Hybrid 능동 필터를 연구하는 많은 이들에게 많은 흥미를 주리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Hirofumi Akagi, "Active and hybrid filters for power conditioning" Industrial Electronics, ISIE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on, Vol. 1, pp. TU26-TU36 Dec. 2000.

[2] Th. Westerweller et al., "Performance calculation and operating results of active ac harmonic filters for HVDC transmission system" IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, Vol. 1, pp. 337-342,

July 2001.

[3] A.M. Gole, "An ac active filter for use at capacitor commutated HVDC converters" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp. 335~341, April 2001.

[4] T.C. Green and J.H. Mark, " Ratings of active power filters" IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 150, No. 5, pp.607~614, September 2003.

[5] Adil M. Al-Zamil and David A. Torrey, "A passive series, active shunt filter for high power applications" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 16, No. 1, pp 101~109, January 2001.

[6] M. Rastogi, N. Mohan, A.Edris, "Hybrid-active filtering of harmonic currents in power systems" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp 1994~2000, October 1995.

저 자 소 개



김찬기(金燦起)

1968년 12월 17일생. 1991년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1993년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~현재 전력연구원 선임연구원. 당 학회 편집위원.



양병모(梁炳模)

1969년 4월 24일생. 1995년 연세대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 전력연구원 입사. 현재 전력연구원 차세대전력기술그룹 선임보조연구원.



정길조(鄭吉朝)

1949년 8월 16일생. 1983년 중앙대 전기공학과 졸업. 1995년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전력연구원 차세대전력기술그룹 그룹장.