

HVDC 구성을 갖는 A.C. System의 필터 유형 비교에 관한 연구

김찬기, 최영도
한전전력연구원

Interfacing of A.C. System with HVDC Schemes : A Comparison of Filter Types

Chan-Ki Kim, Young-Do Choy
KEPRI

ABSTRACT

AC harmonic filters connected to the terminals of HVDC schemes fulfill two primary functions: to compensate for part or all of the reactive power absorbed by the converter, and to limit to an acceptable level the voltage distortion caused by the converter harmonics. this paper makes a direct comparison between tuned filters and damped filters, each designed for a long HVDC transmission scheme. It is hoped that by comparing the two approaches a syudy to determine the suitability of filter types to AC systems can be promoted.

1. 서 론

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

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

HVDC 구성의 터미널에 연결되어 있는 AC 고조파 필터는 세 가지 주요 기능을 수행 하는데, 첫 번째로 컨버터에 의해 흡수된 무효전력의 부분 또는 전체를 보상하는 것과 두 번째로 컨버터 고조파에 의해 야기되는 전압 왜곡을 수용 가능한 레벨로 제한시키는 것이다. 선택된 주파수에서 공진하는 인덕터와 커패시터를 구성하고 있으므로, 필터는 또한 컨버터 a.c. 모선에서 진폭과 일시적인 과전압의 파형을 결정 하는데에 주요한 역할을 한다. 세 번째로 전력계통의 과도상태에서 안정도를 향상시키는 방안이다.

본 연구는 수동필터인 동조 필터와 damped 필터 사이에

서 직접적인 비교를 하는데 있어, 과도상태에서의 안정도 향상과 가능한 고조파 저감대책으로 두 종류의 필터의 성능을 비교 검토하고 최종적으로 원가비교를 위한 필터설계에 기초를 둔다.

각각은 긴 HVDC 전송 SCHEME을 위해 설계되었고, 또한 두 가지 접근을 비교함으로써 AC 시스템에 대한 필터 타입의 적합성을 결정하는 연구를 하였다.

본 논문의 연구 분석은 EMTDC 프로그램을 이용하여 시간영역 디지털 시뮬레이션으로 수행하였으며 계통 모의는 수정된 CIGRE 모델을 이용하였다.

2. CIGRE HVDC MODEL SCHEME

2.1 CIGRE HVDC Schme Parameter 및 계통모델

그림 1은 HVDC와 연결된 AC 계통을 보여 주고 있다. 본 논문에서 검토하는 HVDC 시스템은 수정된 CIGRE 모델이며 HVDC 시스템에서 사용하는 제어기의 구조와 파라미터는 모두 CIGRE 모델과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 HVDC 시스템은 용량이 1000MW, 500KV, 12 pulse 컨버터를 가지고 있고 단극(Monopole system)을 갖는 시스템이며, 수전단 즉, 인버터 측의 SCR은 2.5 이다.

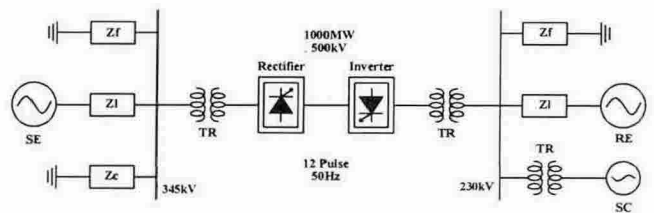


그림 1 CIGRE 모델에 기반을 둔 HVDC 계통모델
Fig. 1 HVDC Model Based on CIGRE MODEL

CIGRE 모델에서 수동필터로 사용되고 있는 동조 필터와 damped 필터를 설계하여 계산된 값으로 과도상태에서의 안정도 향상과 고조파 저감대책으로 두 종류의 필터의 성능을 비교 검토하였다.

3. 필터 설계 및 구성

3.1 동조필터의 최소비용 설계

특정 고조파를 위해 튜닝된 필터의 비용은 그림 1에서 보여지는 방법에서 필터의 사이즈로 다양하게 되고, 특정 크기에서 가장 작게 된다.

커브의 모양은 비용의 두 가지 요소의 존재에 달려있는데 한 가지는 사이즈에 비례하는 것이고, 다른 한 가지는 사이즈에 반비례하는 것이다.

$$K = AS + BS^{-1} \quad (1)$$

K = 비용(k\$)

S = 사이즈(Mvar)

A, B = 상수(k\$/Mvar and k\$ · Mvar, 각각)

$$P_{rC} = V_1^2 \omega_1 C + \frac{I_{hf}^2}{h \omega_1 C} = S + \frac{V_1^2 I_{hf}^2}{hS} \quad (2)$$

C = capacitance (F)

$\omega_1 = 2\pi \times$ 기본주파수

$V_1 =$ 기본 전압 (kV)

$I_{hf} =$ h차수의 고조파 전류 (kA)

S = 캐패시터의 용량 (Mvar)

인덕터의 정격은 기본파와 고조파의 무효전력의 합에 유사하게 의존한다.

$$P_{rL} = \frac{S}{h^2} + \frac{V_1^2 I_{hf}^2}{hS} \quad (3)$$

저항의 비용은 무시하고 필터의 총 비용을 계산하면

$$K = P_{rC} U_C + P_{rL} U_L \quad (4)$$

각각 캐패시터와 인덕터의 비용인 U_C 와 U_L , 식(2)과 (3)로부터 P_{rC} 와 P_{rL} 값들을 대입한다.

$$K = S \left(U_C + \frac{U_L}{h^2} \right) + \frac{V_1^2 I_{hf}^2}{hS} (U_C + U_L) = AS + BS^{-1} \quad (5)$$

최소비용의 용량은 미분계수 dK/dS 와 0이 같아지는것에 의해 알 수 있다

$$\frac{dK}{dS} = A - BS^{-2} = 0 \quad (6)$$

$$S_{\min} = \left(\frac{B}{A} \right)^{1/2} \quad (7)$$

그리고 S의 값을 최소비용으로 주어지는 비용 식에 대입한다.

$$K_{\min} = 2\sqrt{AB} \quad (8)$$

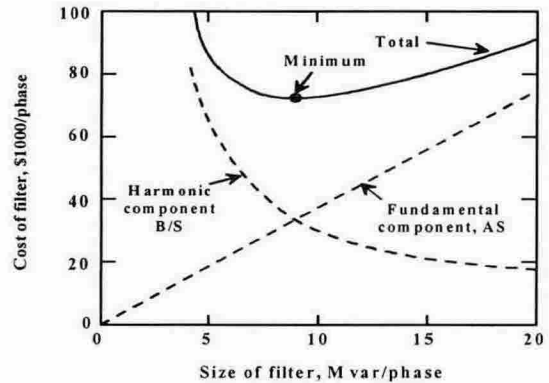


그림 2 12펄스 컨버터에 대한 5차 고조파 필터 크기에 대한 필터의 원가

Fig. 2 Cost of filter versus its size, illustrated for fifth-harmonic filter for 12-pulse converter

3.2 동조필터 구성

가장 낮은 원가설계는 동조 필터와 high pass 필터를 이용한다. 동조필터는 개별적인 선택된 고조파의 효율적인 제한을 제공하지만, 다른 고조파에서 거의 damping을 제공하지 않는다. 동조 필터는 11차, 13차 고조파의 억제에 위해 사용된다. 11,13차 필터는 원가를 최소화하기 위해 더블 동조필터로 설계되고 23차와 더 높은 고조파를 위한 전압 왜곡을 규제하는 high pass 필터는 TIF 요구를 만족시키기 위하여 주로 제공된다.

그림3은 각각의 필터를 위한 고조파 성능과 무효전력 균형을 기준을 만족시키기 위해 설계된 tuned filter의 구성이다.

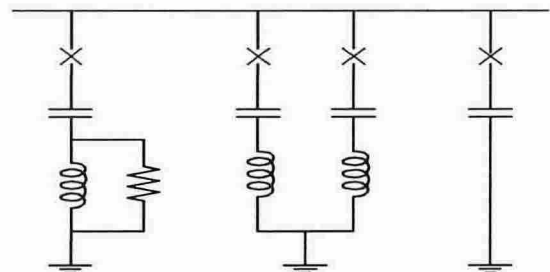


그림 3 tuned filter의 구성

Fig. 3 Configuration for tuned filter design

3.3 Damped 필터 구성

비특성 고조파와 특성 고조파 둘 다 억제하기 위한 필터 설계는 damped 필터를 이용한다. 기본적으로 두개의 damped 필터의 특성을 결합 시킨 이중 damped 필터는, 11차, 13차, 23차 그리고 더 높은 고차에서 고조파 전압의 최대 감소를 주기 위해 구성되고 이 필터 설계는 또

한 모든 고조파 주파수에서 일정한 댐핑을 준다. 그림4은 각각의 필터를 위한 고조파 성능과 무효전력 균형을 기준을 만족시키기 위해 설계된 damped filter의 구성이다.

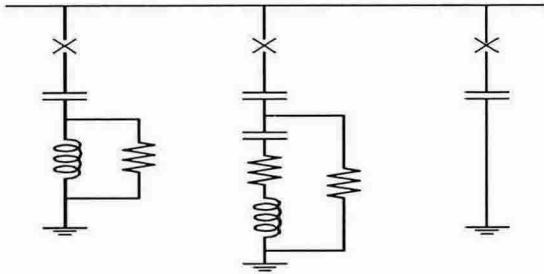
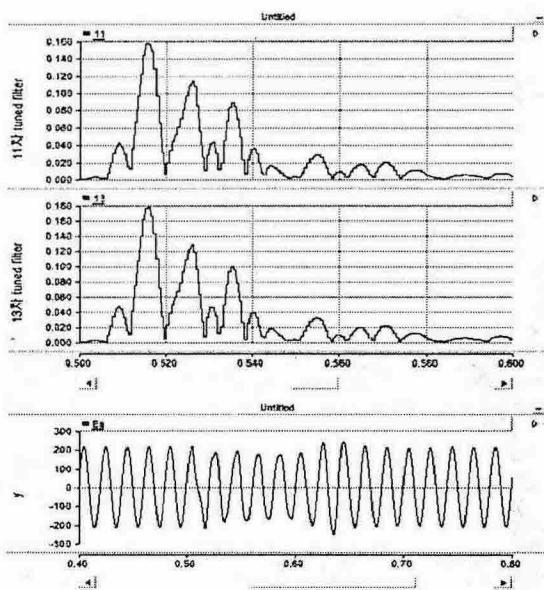


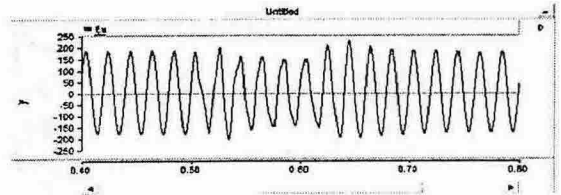
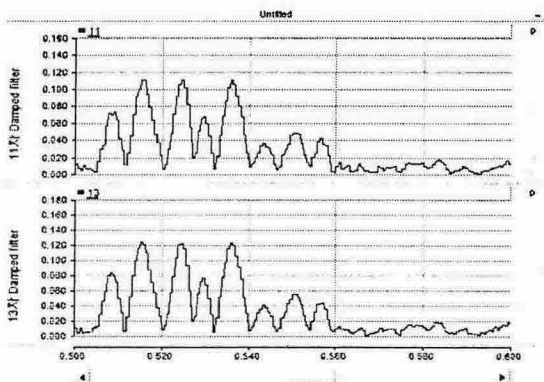
그림 4 damped filter의 구성
Fig. 4 Configuration for damped filter design

4. 과도 성능(transient performance)

a.c 고조파 필터는, 컨버터 모션(busbar)에서 파형과 스위칭 서지(급변) 과전압의 진폭을 결정하는데 있어서 주요한 역할을 한다.



(a) Tuned Filter



(b) Damped Filter

그림 5 과도상태에서 1선지락시 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results of a 1-phase fault to ground at transient

고조파 억제를 위한 필터의 설계를, 과도전류(transient)에 무관하게 간주되어서는 안될 것이며 컨버터 스테이션과 현 AC 시스템 둘다에서 그 영향을 고려하여 설계되어야 한다.

그림 5는 tuned filter와 damped filter의 1선 지락시 과도상태에서의 필터의 11차,13차의 파형과 전압파형을 보이고 있다. tuned filter 설계에 대한 그래프는 a.c 모션단에서 서지 제지 보호 레벨의 과도 peak를 보여줄 뿐만 아니라 과도가 매우 가볍게 damped된다. 하지만,damped filter에 의해 생성된 그래프는 서지 제지 보호 레벨의 과도함에 있어서 peak을 보이지 않고, 높아진 a.c 모션단 전압에 의해 야기된, 단지 컨버터 변압기의 포화에 의해 불안정해지는 사인곡선으로 매우 빨리 진정된다.

5. 결론

HVDC 컨버터에 의해 야기되는, 무효전력 보상의 공급과 전압 왜곡의 제한은 동조필터와 damped 필터 설계 둘 다에 의해 효과적으로 달성될 수 있다. 동조필터 설계는 제일 낮은 비용을 제공하지만 damped 필터는 Peak 과전압을 제안시키는 특성을 가지고 있다. 즉, 컨버터에서의 1선 지락으로부터의 회복이 될 때, tuned filter 보다 damped filter에서 더 낮은 과전압이 발생하였다는 것을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] 'Design and Performance of A.C. Filters for 12 Pulse HVDC Schemes' - C.H. Stanley, J.J. Price, G.L. Brewer. IEE Conference on Power Electronics - September '77.
- [2] 'Application of A Digital Computer Program to Transient Analysis and Design of HVDC and AC Thyristor Valves'. N.L. Diseko, et.al. International Conference on Thyristor and Variable Static Equipment for AC and DC Transmission - Nov./Dec. 1981.