

Photovoltaic Power Generating System

전력계통 고조파 대책과 역률개선 기술

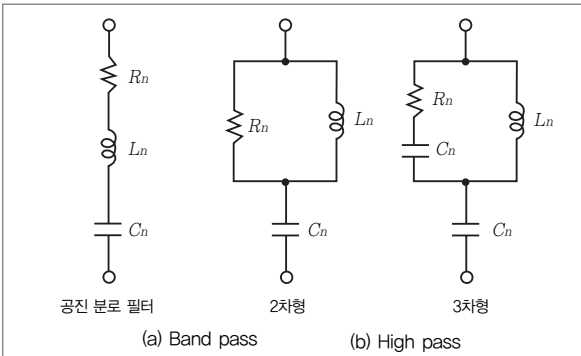
전력용 콘덴서는 무효전력을 보상하여 역률을 개선하기 위해 전력계통에 없어서는 안 될 기기이다. 콘덴서는 본래 절연 신뢰성이 높은 기기인데, 고조파 발생부하로 사이리스터 응용기기가 광범위하고 다양하게 사용됨에 따라 콘덴서 설치와 운용을 잘못하면 전력계통에 과도한 고조파 왜곡을 발생시켜, 다른 기기에 영향을 줄 뿐 아니라, 콘덴서 자체도 성능열화 또는 과열손상을 초래한다. 따라서 고조파 발생원을 갖는 계통에서는 콘덴서 설치·운용에 있어서 충분한 검토가 필요하다. 본론의 구성은 전력계통에서 이해하기 어려운 고조파 관련 기술을 학습한 후, 무효전력제어와 역률개선 기술을 해설하고자 한다.

글 이성우 | 파워세븐엔지니어링 대표
임종필 | 파워세븐엔지니어링 차장
박선봉 | 롯데건설 부장
최진성 | (주)동양티피티 이사

3.2 고조파 필터

대용량 변환장치에 의한 계통의 고조파를 줄이기 위해서는 대용량, 대형의 교류필터를 설치할 필요가 있다. 교류필터는 유효한 대책인데, 설계·제작은 고도의 기술을 요하므로 사전에 충분한 검토가 필요하며, 콘덴서 설비의 일종이므로 교류필터는 진상전류를 공급해서 역률개선에도 이용할 수 있다.

필터는 그림 7과 같이 대표적인 것으로 공진분로필터와, 하이패스필터의 두 가지로 구분된다.



[그림 7] 교류필터의 종류

1) 공진분로필터

공진분로필터는 R, L, C의 직렬공진회로에 의해 구성되는 데, 단일고조파에 공진하고, 공진주파수에서는 저저항을 나타낸다. 필터의 임피던스는

$$Z_n = R_n + j(\omega L_n - \frac{1}{\omega C_n}) [Q] \dots\dots\dots (13)$$

단, L_n : 제n차 고조파필터의 인덕턴스 [H]

C_n : 제n차 고조파필터의 커패시턴스 [F]

R_n : 제n차 고조파필터의 실효저항 [Q]

ω : 각 주파수 = $2\pi f$ [rad/sec]

로 주어진다. 공진 각주파수에서는

$$\omega_n^2 L_n C_n = 1 \dots\dots\dots (14)$$

의 관계가 성립하므로 교류 임피던스는 최소가 된다. 공진의 날카로운 Q_n 은 다음과 같이 표현된다.

$$Q_n = \frac{\omega_n L_n}{R_n} \dots\dots\dots (15)$$

공진주파수에서는 필터의 임피던스 Z_n 은 R_n 와 같아지고, 필터의 효과는 R_n 이 작을수록, 즉 Q_n 이 클수록 크고, 완전동

조하면 고조파전압 $V_n = I_n R_n$ 이 된다. 그러나 실제로는 콘덴서, 리액터의 설계, 조정오차, 온도, 전압, 전류에 의한 변동, 계통 주파수의 변동 등에 의해 공진 어긋남이 생긴다. 최악의 경우 공진 어긋남이 일어나면 고조파 전압은 2배가 된다.

공진 어긋남이 생기면 Z_n 은 R_n 보다 커지고, 고조파 전압은 커진다. 또 계통의 리액턴스와 필터가 공진하면 고조파 전압이 커질 가능성이 있다. 따라서 필터와 계통이 병렬공진 했을 때의 고조파 전압이 최소가 되도록 필터를 설계하여 두면 충분하다.

2) 하이패스필터

하이패스필터로서 보통 사용되고 있는 것은 2차형, 3차형의 것으로 공진의 Q 를 둔하게 하면 광범위의 고조파에 대해서 저저항으로 할 수 있다. 그림 7의 2차형과 3차형 필터의 임피던스는

$$Z_{n2} = \frac{1}{j\omega C_n} + \frac{1}{R_n + \frac{1}{j\omega L_w}} \dots\dots\dots (16)$$

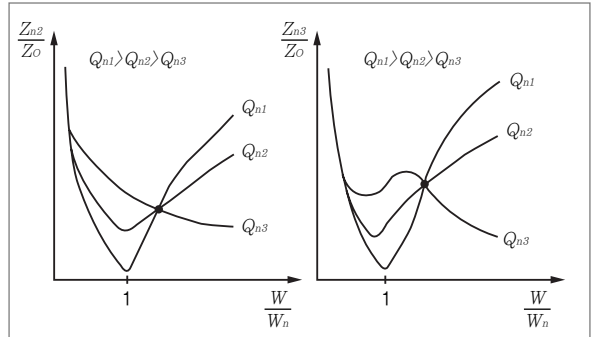
$$Z_{n3} = \frac{1}{j\omega C_n} + \frac{1}{R_n + \frac{1}{j\omega C_w} + \frac{1}{j\omega L_w}} \dots (17)$$

로 주어진다. 여기서 공진의 날카로움 정도인 Q_n 을 수식 (18)로 표현한다.

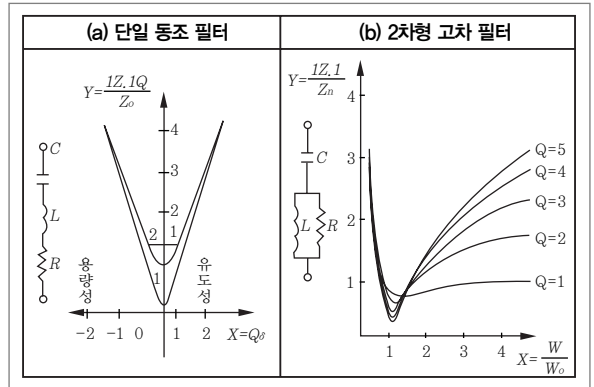
$$Q_n = \frac{\omega_n L_n}{R_n} \dots\dots\dots (18)$$

하이패스필터의 Q_n 는 공진분로필터와 역수의 꼴로 되는 것을 알 수 있다. 하이패스 필터는 R_n 을 크게 하면 Q_n 이 날카로워진다. 2차형과 3차형의 필터 임피던스 값을 그래프로 나타내면 그림 8과 같다.

하이패스 필터는 주파수 편차에 의해 그다지 큰 차이가 생기지 않으므로 $Q = 1 \sim 5$ 정도로 정하면 될 것이다. 3차형은



【그림 8】 하이패스필터의 특성



【그림 9】 공진분로(단일동조)필터와 2차형 고차필터의 특성

고차조파에서 고임피던스가 되는데 반해, 2차형에서는 컷주파수 ω_n 이상의 주파수에 대해 R_n 과 같은 정도의 저임피던스가 되므로 대개는 2차형이 사용된다. 그림 9는 공진분로(단일동조)필터와 2차형 고차필터의 특성을 나타낸 것이다.

※ 콘덴서 고조파 대책 계산 예

앞에서 학습한 바와 같이 일반적으로 전력계통에는 고조파가 존재하고 있다. 무효전력을 과보상한 상태에서 전압상승이 일어나면 변압기의 과여자 등에 의해 계통의 고조파 전압이 높아지거나, 직렬리액터가 없는 콘덴서가 있으면 공진에 의해 큰 고조파 전류가 흐르게 된다.

그 결과 콘덴서의 이상 기기의 오동작 또는 소손 등의 현상이 일어난다. 이상과 같은 문제를 방지하기 위해서는 부하의 크기에 따라 콘덴서 제어가 필요하며, 콘덴서를 설치하는 경

우, 콘덴서 보호를 위해 직렬리액터를 설치한다. 이에 대한 계산 예를 소개하기로 한다. 주어진 조건은 다음과 같다.

- 변압기 용량 : 1000kVA, %Z = 6%,
- 콘덴서 용량 : 300kvar, 직렬리액터 미설치
- 계통 주파수 : 50Hz
- 선간 전압 : 400V

1) 공진주파수를 계산하여라.

[해설]

공진주파수는 다음 수식을 적용한다.

$$S_k = \frac{100}{\%Z} S_T \text{ and } f_{res} = \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} \dots\dots\dots (15)$$

여기서 S_k : 모선 단락용량
 S_T : 변압기 용량
 Q_c : 콘덴서 용량

$f_{res} = 50 \sqrt{\frac{1000 \times 100}{300 \times 6}} = 373\text{Hz}$ 이므로, 제7고조파(373/50) 부근에서 공진이 발생한다.

2) 콘덴서를 투입하지 않은 상태에서 측정할 경우

고조파 발생부하인 정류기 부하는 450kVA 이고, 콘덴서를 투입하지 않은 상태에서 측정할 고조파 전압 왜형률은 제5고조파 3.38%, 제7고조파 2.37%, 제11고조파 1.89% 이고, 고조파 전류 왜형률은 제5고조파 25%, 제7고조파 13%, 제11고조파 6% 일 때, 고조파 전류와 전압의 크기를 계산하여라.

[해설]

① 상기 수식에 의해 모선 단락용량은 16.66MVA이므로 계통 임피던스 Z_k 는 0.0095Ω 이다.

② 정류기 부하의 정격전류 I 는 650A 이므로 고조파 전류와 전압의 크기는 다음과 같이 계산한다.

a. $I_5 = 0.25 \times 650A = 162A$

$U_5 = I_5 \cdot Z_k \cdot 5 \cdot \sqrt{3} = 13.3V \rightarrow 3.3\% \cdot 400V$

b. $I_7 = 0.13 \times 650A = 84A$

$U_7 = I_7 \cdot Z_k \cdot 7 \cdot \sqrt{3} = 9.7V \rightarrow 2.4\% \cdot 400V$

c. $I_{11} = 0.06 \times 650A = 39A$

$U_{11} = I_{11} \cdot Z_k \cdot 11 \cdot \sqrt{3} = 7.06V \rightarrow 1.7\% \cdot 400V$

즉 콘덴서를 투입하지 않은 상태에서 IEC-Publication 1000-2-2, 고조파 전압의 적합성 범위에 있음을 알 수 있다.

3) 직렬리액터를 미설치한 상태에서 콘덴서를 투입한 경우 측정할 예를 설명하여라.

[해설]

역률을 보상하기 위해, 직렬리액터를 미설치한 상태에서 콘덴서를 투입한 경우에는 다음과 같이 제7고조파 전류가 과다하게 증가하며, 대부분의 고조파 차수에서 커지는 것을 볼 수 있다. 즉 상기 공진주파수 계산결과와 같이 제 7고조파 부근에서 공진으로 인한 이상 확대현상을 나타내고 있다.

a. $I_5 = 121A$

$U_5 = 5.7\%$

b. $I_7 = 370A$

$U_7 = 12.1\%$

c. $I_{11} = 98A$

$U_{11} = 2.1\%$

d. $I_{13} = 52A$

$U_{13} = 1\%$

4) 직렬 리액터 7%를 설치한 상태에서 콘덴서를 투입한 경우 측정할 예를 설명하여라.

계속