

순간전압강하 보상기의 회로파라미터 설정

김홍권* , 이은웅** , 임수생** , 김준호** , 전복수**
 한국전력공사* , 충남대**

The Circuit Parameters Determination of Voltage-Sag Compensator

Hong-Kwon Kim* , Eun-Woong Lee** , Su-Saeng Lim** , Jun-Ho Kim** , Bok-Su Jeon**
 KEPCO* , Chungnam Nat'l Univ.**

Abstract - The analysis model of voltage-sag compensator is achieved in synchronous rotating coordinates. Inverter's LC filter and DC-link capacitor is designed in order to reduce THD of output voltages and LC filter's size. And, the circuit parameters of voltage-sag compensator is presented for 3-phase Customer.

구동시킬 게이팅 드라이브와 프로세서부로 구성된다. LC필터가 원활한 필터링을 수행하기 위해서는 인버터의 스위칭 주파수에 비해 공진 주파수가 낮아야 하며 전원 주파수보다는 높아야 한다. 스위칭 주파수에 비해 공진 주파수가 낮을수록 필터링 특성은 좋아지나 필터의 용량은 커지게 된다. 보통 공진주파수는 스위칭 주파수의 1/10이하의 값으로 설정한다. 공진주파수가 정해지면 LC값은 THD(total harmonic distortion)관점에서 설계되어 진다. 직렬 변압기는 보상되어질 전압크기에 의해 권선비가 결정된다.

1. 서 론

최근 IT(information technology)의 수요 증가로 인해 디지털 시스템이 산업용에서부터 가정에 이르기까지 응용되면서 전원의 고품질화에 대한 요구가 높아지고 있다. 특히 전원의 순간적인 전압변동이 가장 큰 문제이기 때문에 정전에 대한 대책보다는 전원 트러블의 대부분을 차지하는 순간전압강하를 보상하는 연구가 더욱 필요하다 [1,2,3].

순간전압강하 보상기는 순간전압강하 발생시 부족분의 전압을 인버터가 만들어서 직렬변압기로 인가함으로써 부하측 전원을 일정하게 하는 방법이다 [4]. 본 논문에서는 순간전압강하 보상기의 기본동작원리와 보상시스템 구성을 제시하고 동기좌표축상에서 순간전압강하 보상기를 모델링한다. 그리고, 인버터 출력 LC필터 및 직류측 커패시터 등 순간전압보상기의 기본 파라미터를 설정한다.

2. 순간전압강하 보상기의 모델링

2.1 기본 동작 원리

그림 1은 직렬형 순간전압강하 보상기의 동작원리를 나타낸다. 순간전압강하 보상기는 평상시에는 상용전원이 부하에 전력을 공급하고 인버터는 제어회로만 동작하는 대기상태에 있게 된다. 순간 전압변동이 발생하면 제어회로에서 입력 전압강하분에 해당하는 전압을 인버터에서 커패시터나 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 발생시킨다. 이 전압은 직렬 변압기를 통해 입력전압에 직렬로 가산되어 부하에는 입력전압이 정상일 때와 거의 동일한 전압이 인가되도록 한다. 입력전압이 다시 정상으로 회복되면 순간 전압강하는 없게 되어 인버터는 다시 대기상태로 된다. 그러므로 직렬형 순간 전압강하 보상기는 대기전력공급기라 불리는 형태의 전원 보상장치이다.

2.2 시스템 구성

순간전압강하 보상기는 그림 2에서와 같이 에너지 저장장소로 사용되는 직류링크 커패시터 혹은 배터리, 인버터 스택, 스위칭 주파수를 필터링하는 LC필터, 그리고 전압을 직렬로 가감해 주는 직렬변압기로 구성되어 있다. 그밖에 전원측 전압센서, 인버터 출력 전류센서, 커패시터 전압센서로 이루어진 센서부가 있고 인버터를

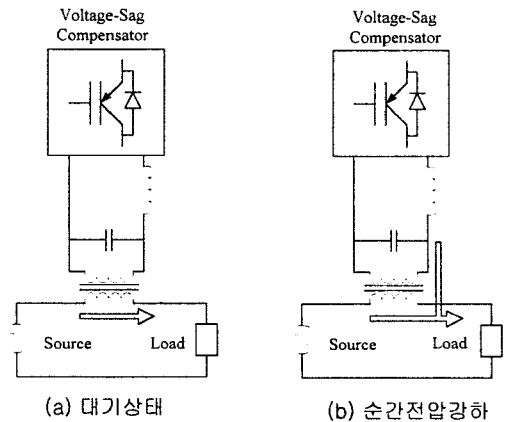


그림 1. 순간전압강하 보상기의 동작원리

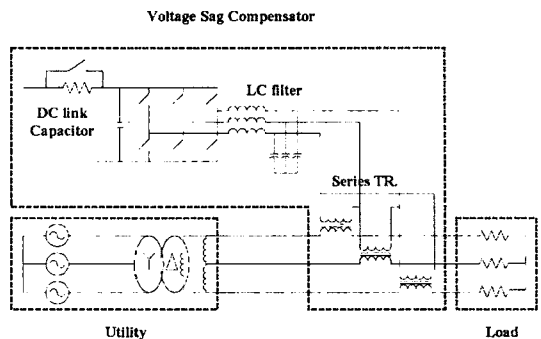


그림 2. 순간전압강하 보상기 전체 시스템 구성도

2.3 DQ축 모델링

그림 3처럼 abc축의 임의의 3상 변수를 qd0변수로 변환하면 식 (1)과 같다 (6).

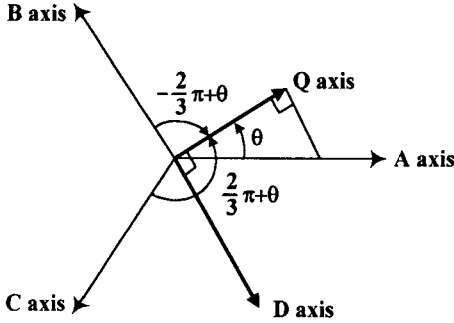


그림 3. abc-qd0축 변환

$$\begin{bmatrix} f_q \\ f_d \\ f_0 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$[T] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

qd0축이 전원의 각주파수 ω (rad/sec)로 회전할 때 동기좌표축이라 하며, 이때 q축과 a축 사이의 각은 $\theta = \omega t$ 가 된다. 전원 각주파수 ω 로 회전하는 성분에 대해 동기좌표축 qd0변수는 직류값을 갖게 된다. q축 성분은 유효성분으로 나타나고 d축 성분은 무효성분으로 나타난다.

계통선로의 고장으로 저전압 불평형 전원이 발생하면 이에 대응하여 순간 전압강하 보상기는 불평형 전압을 발생시켜서 부하(수용가)측에 일정한 전압을 유지시켜 주어야 한다. 따라서 인버터 시스템을 불평형 시스템으로 해석하여야 한다.

그림 4의 인버터 시스템을 모델링하기 위하여 인버터 출력 전압은 커패시터에 걸리는 전압으로 생각될 수 있다.

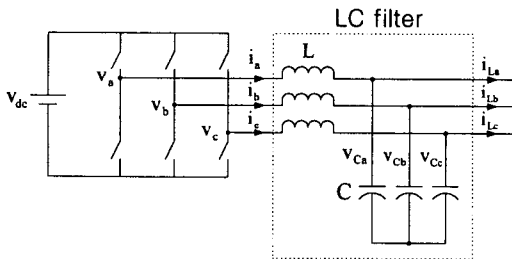


그림 4. 시스템 모델링

각 상의 전압방정식을 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_a &= L \frac{di_a}{dt} + v_{Ca} \\ v_b &= L \frac{di_b}{dt} + v_{Cb} \\ v_c &= L \frac{di_c}{dt} + v_{Cc} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 v_a, v_b, v_c 는 인버터 3상전압이고 i_a, i_b, i_c 는 인버터 상전류이며 v_{Ca}, v_{Cb}, v_{Cc} 는 커패시터에 걸리는 전압이고 i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc} 는 필터링된 인버터 출력전류이다. 인덕터의 전류 방정식은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} i_a &= C \frac{dv_{Ca}}{dt} + i_{La} \\ i_b &= C \frac{dv_{Cb}}{dt} + i_{Lb} \\ i_c &= C \frac{dv_{Cc}}{dt} + i_{Lc} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)를 정상분에 동기된 동기좌표계로 표현하면 식 (5)과 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{de} = L \frac{di_{de}}{dt} - \omega Li_{qe} + v_{Cde} \quad (5)$$

$$v_{qe} = L \frac{di_{qe}}{dt} + \omega Li_{de} + v_{Cqe}$$

$$i_{de} = C \frac{dv_{Cde}}{dt} - \omega C v_{Cqe} + i_{Lde} \quad (6)$$

$$i_{qe} = C \frac{dv_{Cqe}}{dt} + \omega C v_{Cde} + i_{Lqe}$$

3. 순간전압강하 보상기의 회로 파라미터 설정

3.1 직류측 커패시터

3상 인버터의 직류단을 커패시터를 사용하여 구성하였으며 직류측 커패시턴스는 전원측의 전압강하 폭과 전압강하 지속시간에 따라 축적해 두어야 할 보상에너지의 양에 의해 결정된다. 따라서 보상시스템의 직류측 커패시터는 전원이상현상시 필요로 되는 에너지 양의 관점에서 설계되어야 하는데 보상을 위해 필요로 되는 커패시터의 에너지 양을 E_C 라 한다면 보상시스템의 직류측 커패시터의 커패시턴스는 식 (7)로부터 식 (8)과 같이 결정할 수 있다.

$$E_C = \frac{1}{2} C V_{dc}^2 = P_t \times D_r \times t_c \quad [J] \quad (7)$$

$$C = \frac{2 \times P_t \times D_r \times t_c}{V_{dcr}^2 - V_{dcl}^2} \quad (8)$$

여기서 E_C : 보상기가 보상해야 할 에너지
 P_t : 부하 소비 전력
 D_r : 전원측 전압강하 또는 전압상승률
 t_c : 보상 지속시간
 V_{dcr} : 직류측 기준전압
 V_{dcl} : 제어가능한 직류전압의 하한치

3.2 출력 LC 필터

인버터 출력전압의 정현화를 위해 인버터 출력측에 LC필터를 설치하여야 하며 필터 인덕턴스와 커패시터의 커패시턴스는 출력전압의 THD와 필터의 사이즈관점에서 설계된다. 구성된 LC 저역통과필터의 상당 등가회로는 그림 5와 같으며 인버터 출력측의 인덕터가 시스템에 미치는 영향은 출력특성외에 시스템의 무게, 가격, 부피등에 많은 영향을 주기 때문에 인덕터는 작게 선정됨이 바람직하다.

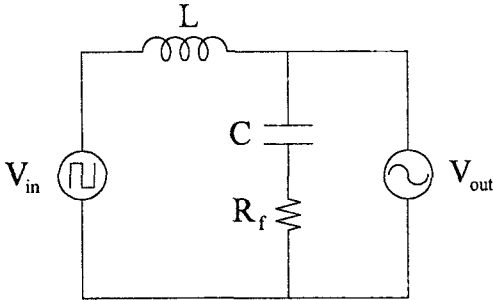


그림 5. 상당 LC 저역통과필터의 등가회로

그림 5로 구성되는 보상기 LC필터의 입출력 전달함수는 식 (9)과 같다.

$$G(s) = \frac{R_f s + \frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{R_f}{L} s + \frac{1}{LC}} \quad (9)$$

여기서, L과 C는 필터의 인덕턴스와 커패시턴스이고 R_f는 댐핑저항이다. 이때 LC저역통과필터가 원활한 필터링을 수행하기 위해서는 스위칭 주파수에 비해 공진주파수가 낮아야 하며, 공진주파수는 낮을수록 필터링 특성이 좋아지지만 필터의 용량이 상승하므로 본 연구에서는 저역통과필터의 공진주파수를 스위칭 주파수의 약 1/12로 선정하였다. 그림 6는 그림 5의 댐핑저항 R_f에 따른 저역통과필터의 주파수특성으로서 R_f가 증가할수록 공진의 크기가 감소함을 알 수 있으며 만일 전압보상기가 800[Hz] 부근의 고조파 전압을 보상하게 된다면 R_f를 5[Ω]정도로 설정하여야 함을 알 수 있다.

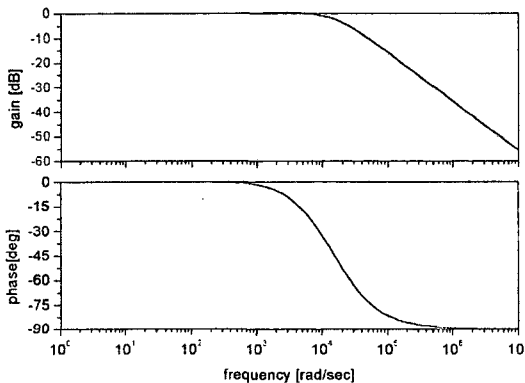


그림 6. R_f에 따른 LC필터의 주파수 특성

본 논문에서 제안한 제어기와 인버터측의 설계파라미터를 종합하면 표 1과 같다. 순간전압보상을 수행하기 위한 디지털 제어기의 샘플링주파수는 10[kHz]이며, 인버터 출력단 LC필터는 필터 리액턴스 0.3[mH]와 필터 커패시턴스 150[μF]을 사용하였다. 인버터 직류단 전압은 500[V]로 설정하였으며 시스템에 중성선이 없는 것으로 하였다.

표 1. 순간전압보상기 시스템의 파라미터

구분	파라미터	값
보상 스펙	전원 전압	380 [V]
	정격 부하전력	75 [kVA]
	순간전압 강하률	35 [%]
	보상 지속 시간	10 [cycle]
보상기 설계 파라미터	직렬변압기 권선비	1.7 : 1
	LC필터 커패시터	0.3 [mH]
	LC필터 커패시터	150 [μF]
	직류링크 커패시터	40,000 [μF]
	직류링크 전압	500 [V]
	스위칭 주파수	10 [kHz]

4. 결 론

순간전압강하 보상기의 기본동작원리와 시스템 구성을 제시하고 동기좌표축상에서 순간전압강하 보상기를 모델링하였다. 출력전압의 THD가 최소가 되고 인덕터의 사이즈를 줄일 수 있도록 인버터 출력 LC필터 및 직류측 커패시터의 값을 정하였다. 그리고, 일반 3상 수용가에 맞는 순간전압보상기의 기본 파라미터를 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Alexandre Campos, Geza Joos, etc., "Analysis and Design of a Series Voltage Unbalanced Compensator based on a Three-Phase VSI Operating With Unbalanced Switching Functions", IEEE Trans. on P.E., Vol. 9, No. 3, pp. 269-274, 1994.
- [2] Kevork Haddad, Geza Joos, "A Fast Algorithm for Voltage Unbalance Compensation and Regulation in Faulted Distribution Systems", IEEE APEC meeting, pp. 963-969, 1998.
- [3] V. B. Bhabaraju, P. Enjeti, "A Fast Active Power Filter to Correct Line Voltage Sags", IEEE Trans. on I.E., Vol. 41, No. 3, pp. 333-338, 1994.
- [4] 임용빈, 임수생, 이은용, 김홍권, "직렬형 전압보상기의 단상 전력회로 해석", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp.302-304, 1999.