

대전력용 직렬형 멀티레벨 인버터 이용한 STATCOM의 새로운 제어기법

°민완기*, 최재호**
°조선이공대학*, 충북대학교**

Novel Control of STATCOM Using Cascade Multilevel Inverter for High Power Application

°Wan-Ki Min*, Jae-Ho Choi**
Chosun College of Science & Technology*, Chungbuk National University**

Abstract - This paper proposes the novel control of a static synchronous compensator (STATCOM). This STATCOM system consists of cascade multilevel inverter which employs H-bridge inverter(HBI). The STATCOM system is modeled in the d-q transform matrix. This model is used to design a controller. The selective harmonic elimination method(SHEM) allows to keep the total harmonic distortion (THD) low in the output voltage. The switching method produces the staircase type waveform in cascade multilevel inverter. To balance the DC voltages in HBIs capacitor, the rotated switching scheme is newly proposed in this paper. The proposed control scheme is verified in the simulated results.

1. 서 론

최근 부하의 엄격한 전력품질 제한에 기인하여 양질의 전력에 대한 요구가 증대하고 있다. 이에 전력품질의 개선을 위하여 계통을 안정화하고 공급전압을 일정하게 유지할 목적으로 무효전력 보상장치의 적용이 필수적으로 채택되는 추세이다.

전압형 인버터를 이용한 무효전력 보상장치는 전력용 반도체소자의 전압과 전류 용량이 한계가 있으므로 계통에 적용하기 위하여 변압기 Y-△ 또는 △-Y 결선방식에 의하여 무효전력을 제어하고 고조파를 저감하고자 하였으나 설치비가 비싸고 시스템의 총 손실이 크며 과도상태에서 변압기가 포화되어 제어가 어렵다는 문제점을 가지고 있었다.[1] 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 클램핑(Clamping) 다이오드와 플라잉(Flying) 커페시터를 사용한 멀티레벨 인버터 방식의 무효전력장치들이 제안되었다.[3,4] 이 방식들을 사용하면 시스템을 단단으로 구성하여 변압기를 사용하지 않고도 대용량에 적용이 가능하였으나 직류전압을 사용하기 위하여 클램핑 다이오드와 플라잉 커페시터가 추가적으로 필요하여 사용소자수가 증대하고 특성상 레벨 수도 제한되어 대용량화에는 어느 정도 한계가 예견되었다. 그리고 펄스폭 변조방식(PWM)의 무효전력 보상장치들이 제안되었는데 이를 방식 역시 고압 대용량에 적용하는 경우에 스위칭 손실의 증가로 인한 운전비용의 증가와 스위칭에 기인하는 고조파 장애가 문제점으로 지적되었다.[2] 고압 대용량에 적용을 목적으로 HBI(H-Bridge Inverter)를 사용한 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 무효전력 보상장치가 제안되었다.[6,7] 이 방식은 기존의 멀티레벨 방식에 비하여 다이오드와 커페시터의 수를 줄일 수 있고 모듈로 구성하여 간단한 구조로 패키지화하여 대용량화가 용이하다는 등의 특성으로 인하여 기존의 전압형 인버터 방식을 사용한 무효전력보상장치의 대부분의 문제점을 개선할 수 있는 장점이 있었다. 그러나 이들에 대한 선

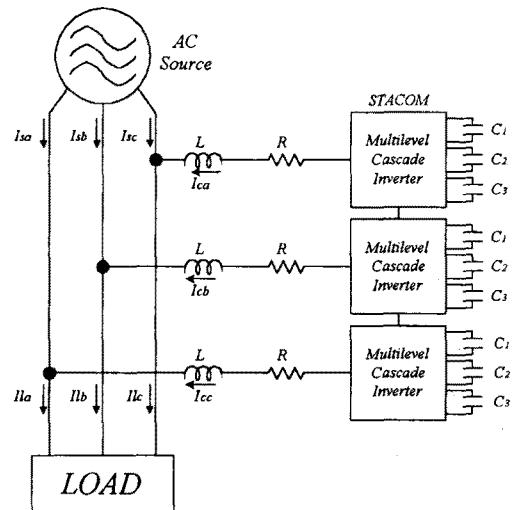


그림 1 멀티레벨 인버터를 사용한 STATCOM의 구조

행연구들이 무효전력을 보상하기 위한 출력전압의 제어를 오프라인(Off-line)으로 변조지수(Modulation Index) 계산하여 수행하므로 과도상태에서 응답속도가 느리고 순시적인 무효전력의 보상이 곤란하였다. 특히 각 HBI 모듈의 기본파 스위칭 패턴이 각 HBI 모듈마다 달라서 각 모듈의 출력즉 커페시터에 직류전압 불평형이 발생하고 이에 기인하여 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 무효전력보상장치의 출력전압 제어를 어렵게 만들었고 시스템설계와 예비부품의 저장 및 유지관리가 곤란하다는 문제점이 있었다.[7,8]

본 논문에서는 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 직렬형 멀티레벨 전압형 인버터를 사용한 STATCOM의 새로운 제어기법을 제안하였다. 그리고 멀티레벨 인버터의 출력전압의 총고조파 쾌형률(THD)을 최소화하기 위하여 SHEM(Selective harmonic elimination method) 기법을 이용하여 각 모듈의 스위칭 패턴을 결정함으로써 저차 고조파를 제거하도록 하였으며 기존의 각 모듈당 커페시터 전압의 불평형을 해소하기 위한 기본파 회전 스위칭기법을 새롭게 제안하였다. 그리고 각 HBI에 단일 스위칭 패턴을 사용함으로써 스위칭 손실을 최소화하여 FACTS와 같은 고압 대용량 시스템에 적용이 가능하도록 설계하였다. 그리고 제안된 기법들을 검증하기 위하여 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 ±10var STATCOM 시스템에 적용하고 스텝변동과 같은 과도상태에서의 응답특성과 커페시터 전압 평형상태 등을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

2. 직렬형 멀티레벨 인버터 방식 STATCOM 시스템 구성과 동작원리

그림 1은 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 3상 STATCOM의 기본 구성도이다. STATCOM은 H-브리

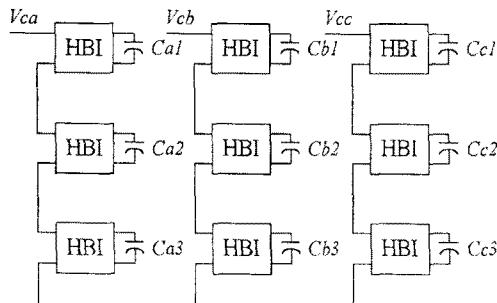


그림 2 7 레벨 직렬형 멀티레벨 인버터의 주회로

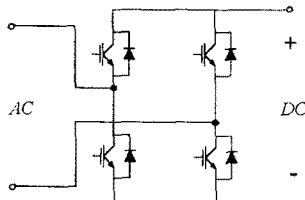


그림 3 IGBT를 사용한 HBI

지 인버터를 직렬로 연결하여 구성하였다. 각 상별로 3개의 HBI 모듈을 직렬로 연결하여 교류 입력전원에 병렬로 부착하였는데 여기서 직류 커패시터들은 상호 독립적으로 구성된다. R 은 선로손실 및 스위칭 손실을 포함하는 등가저항이며 L 은 선로 인덕턴스를 포함하여 부스트형 컨버터로 동작시키기 위해 설치한 인덕터의 값이다. 전원전압은 V_s , 전원전류는 I_s , STATCOM의 출력전압은 V_c , 부하전류는 I_L 로 각각 표기하였다. 직렬형 멀티레벨 인버터는 반주기 동안 M 레벨의 출력전압을 만들기 위하여 (M-1)/2개의 HBI 모듈들이 직렬로 구성되어야 하며 각 HBI는 자체의 직류 전압원을 갖는다. 그림 2는 직렬형 7 레벨 멀티레벨 인버터의 구성도를 보인다. 그림에 보인 바와 같이 7 레벨을 만들기 위하여 각 상별로 3개의 HBI 모듈이 직렬로 구성되었다.

그림 3은 하나의 HBI 구조이며 IGBT 소자로 구성된 단상 전압형 인버터의 구조를 갖는다. HBI는 간단한 구조이고 여기서 HBI의 수는 STATCOM의 출력전압의 크기와 전압의 외형률 및 전력소자의 전압정격 등에 따라서 결정되며 전원전압 및 직류 커패시터의 전압정격에 따라서 보상 출력전압과 HBI의 수 및 각 HBI 모듈의 분압 전압이 달라 진다. 7-레벨 직렬 멀티레벨 인버터에서 발생된 출력파형은 한 상 전압은 3개 HBI 모듈들의 출력전압의 합이 된다.[8] 스위칭 기법은 대용량에서 특히 문제가 되는 스위칭 손실을 줄이고자 기본파 스위칭을 하도록 한 주기에 한 펄스를 발생하는 단일 펄스 스위칭을 채택하였다. 그리고 멀티레벨 인버터의 상전압의 크기는 변조지수를 조정하여 제어할 수 있으나 본 연구에서는 변조지수를 고정된 값을 사용하였다.

그림 4는 STATCOM의 단상 등가회로도를 보인다. STATCOM의 출력전압 V_c 가 이상적인 정현파라고 가정하고 변조지수를 고정시키면 전원전압 V_s 와 V_c 의 위상차 α 를 제어하여 무효전력의 발생량을 제어할 수 있다. 여기서 저항 성분 R 은 무시하고 전원전압 V_s 와 STATCOM의 출력전압 V_c 와 전원전류 I_s 의 벡터도는 그림 5과 같다. $V_s > V_c$ 이면 유도성 부하와 같은 지상 무효전력이 발생하고 $V_s < V_c$ 이면 용량성 부하와 같은 진상 무효전력이 발생한다. STATCOM 출력전압의 크기는 직렬 멀티레벨 인버터의 직류 커패시터 전압으로 결정된다. 본 논문에서는 PWM 방식이 아닌 구형파 스위칭을 사용하였으며 변조지수를 일정하게 고정시키고 전원전압 V_s 와 STATCOM의 출력전압 V_c 의 위상차 α 가

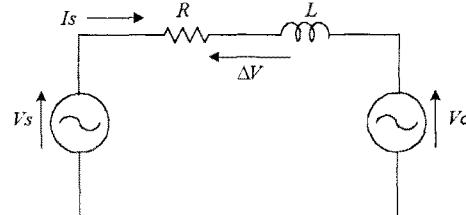


그림 4 단상등가회로도

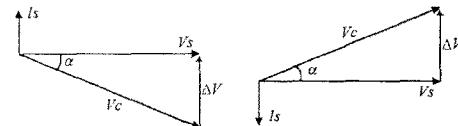


그림 5 STATCOM의 페이셔도. (a) 진상전류 (b) 지상전류

변함에 따라서 STATCOM의 출력전압의 크기를 제어하여 무효전력을 보상하도록 하였다. 결과적으로 α 의 크기에 따라서 HBI의 직류측 전압은 변동하게 되어 새로이 안정된 직류전압을 유지하고 각 HBI의 직류전압이 변함에 따라서 STATCOM의 출력전압 V_c 의 기본파의 크기가 변하게 된다. 무효전력의 흡수나 발생된 양은 전원전압 V_s 와 STATCOM의 출력전압 V_c 의 크기의 차에 따라서 제어된다.

3. 스위칭기법 및 제어회로

3.1 기본파 스위칭

간략화한 STATCOM 시스템은 그림 1과 같고 이 시스템을 모델링하기 위하여 모든 스위치들은 이상적이고, 전원전압은 평형이며 각 HBI 모듈의 직류전압은 같은 크기로 충전되고, HBI의 모든 손실은 무시하면 전원전압의 유효전력과 직류측의 유효전력은 비례한다는 가정으로 d-q변환기법을 사용하여 모델링을 하였다.[8]

SHEM에 의한 기본파 스위칭의 목적은 그림 6과 같이 직렬형 멀티레벨 인버터에서 저차 고조파가 제거된 제단파 출력전압을 얻기 위하여 사용되었으며 구형파 패턴의 사용은 가장 낮은 스위칭 주파수로 대전력응용에 가장 적합한 형태이다. 인버터에서 출력전압을 제어하는 방법으로 직류전압을 직접제어하는 방식이 제안되었는데 [4] 다아나믹 응답특성이 느리다는 단점을 가지고 있고 멀티레벨 인버터에서 각 HBI를 기본파로 스위칭하며, 선택된 고조파를 제거하도록 이미 계산된 값을 Look-up 테이블에서 읽어 변조비제어를 하여 출력전압을 크기를 조정하는 방식이 제안 되었는데[8,9] 이 방식은 오프라인(Off-line)방식으로 변조지수를 계산하여 출력전압의 크기를 제어하였는데 순시무효전력을 보상하는데 한계가 있었다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 개선하고, 직류전압의 불평형을 제거하고, 빠른 응답특성을 가지고도록 하였다. HBI의 수가 N=3일 때 즉

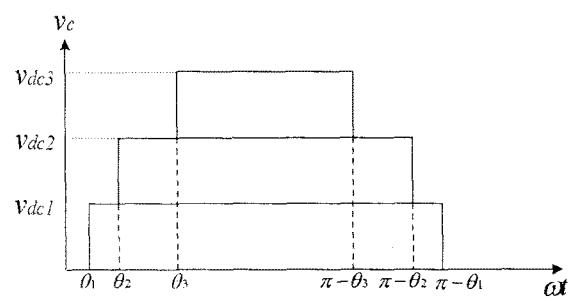


그림 6 7-level 인버터의 스텝 출력전압

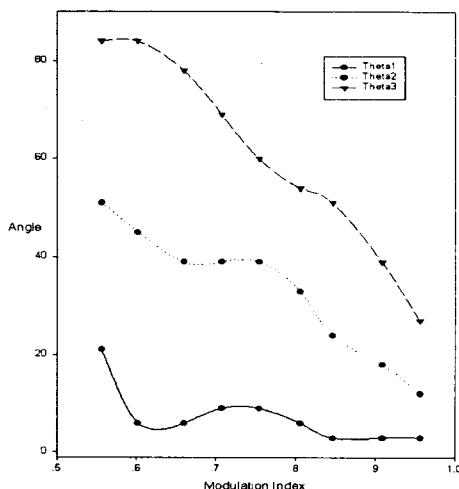


그림 7 변조지수에 따른 스위칭 각도

7 레벨의 출력전압의 계단파에서 5차, 7차, 11차 고조파를 제거한 스위칭 각을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 계산하여 정해진 기본파 스위칭기법을 사용하였다. 기본파 스위칭을 사용하여 대용량에 적합하도록 저차 고조파 및 스위칭 손실저감을 하고자 하였다.

그림 6은 7레벨직렬형 인버터의 단상에 대한 출력파형으로 각 커페시터의 전압은 이상적이라고 가정하면 $V_{dc} = V_{dc1} = V_{dc2} = V_{dc3}$ 가 된다. θ_1 에서 출력전압이 V_c 가 되도록 스위칭을 하고, θ_2 에서 출력전압이 $2V_c$, θ_3 에서 출력전압이 $3V_c$ 가 되도록 스위칭을 STATCOM의 출력전압은 그림 7같이 구형파들의 합, 즉 계단파인 $V_{cl} = V_{c1} + V_{c2} + V_{c3}$ 가 된다. 이 계단파를 푸리에 변환을 사용하여 전개하면

$$\begin{aligned} V(\omega t) &= V_{dc}(\theta_1, \omega t) + V_{dc}(\theta_2, \omega t) + V_{dc}(\theta_3, \omega t) \\ &= V_{dc} \frac{4}{\pi} \sum \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \left(\frac{n\pi}{2} - n\theta_1 \right) \sin(n\omega t) \\ &\quad + V_{dc} \frac{4}{\pi} \sum \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \left(\frac{n\pi}{2} - n\theta_2 \right) \sin(n\omega t) \\ &\quad + V_{dc} \frac{4}{\pi} \sum \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \left(\frac{n\pi}{2} - n\theta_3 \right) \sin(n\omega t) \\ &= V_{dc} \frac{4}{\pi} \sum \frac{1}{n} [\sin(n\theta_1) + \sin(n\theta_2) + \sin(n\theta_3)] \sin(n\omega t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $n=1, 3, 5, 7, \dots$ 이다.

식 (1)에서 푸리에 계수로 전압의 크기를 구할 수 있다.

$$H(\omega t) = V_{dc} \frac{4}{\pi} \frac{1}{n} [\cos(n\theta_1) + \cos(n\theta_2) + \cos(n\theta_3)] \quad (2)$$

여기서 $n=1, 3, 5, 7, \dots$ 이다.

각도 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 0° 에서 90° 사이 위치하고, 저차 고조파를 포함하지 않는 값으로 3개의 고조파 즉 5, 7, 11차 고조파를 제거 할 수 있다. 식 (2)에서 아래의 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \cos(\theta_1) + \cos(\theta_2) + \cos(\theta_3) &= 3M \\ \cos(5\theta_1) + \cos(5\theta_2) + \cos(5\theta_3) &= 0 \\ \cos(7\theta_1) + \cos(7\theta_2) + \cos(7\theta_3) &= 0 \\ \cos(11\theta_1) + \cos(11\theta_2) + \cos(11\theta_3) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 비선형 삼각함수 방정식을 총고조파 왜형률을 5[%]이하를 만족하는 5, 7, 11차 고조파를 제거한 각도의 값을 그림 7과 같이 컴퓨터 시뮬레이션에 의해

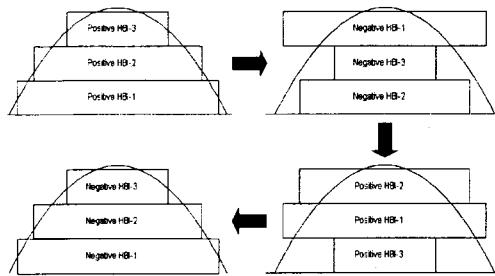


그림 8 구형파 회전기법

해를 구하였다.

3.2 직류 전압평형을 위한 스위칭기법

그림 6과 같이 정해진 스위칭 패턴의 기본파 스위칭으로 각 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 를 순서적으로 HBI를 동작시킨다. 이렇게 스위칭을 할 경우 우양 HBI1은 스위칭 구간이 가장 길고 HBI3는 가장 짧게 되어 각 HBI모듈의 직류 커페시터단의 직류전압이 펄스의 길이가 차에 따라 직류전압의 불평형이 발생하게 된다. 따라서 STATCOM의 출력전압이 모든 직류전압을 평형으로 가정하고 계산된 변조지수와의 차이가 발생되어 오프라인방식으로 변조지수를 계산하여 무효전력을 제어하는 어려웠다. 직류 커페시터의 전압을 일정하게 제어하면서 부하전류에서 무효전력보상장치에 출력전류를 빼서 보상하여 출력전압의 크기의 정보를 얻는데 즉오프라인(Off-Line)방식의 변조지수를 선택하여 STATCOM의 출력전압을 크기를 조정하여 무효전력을 보상하는 이 기법은 직류전압 불평형시 무효전력을 보상하는데 어렵다는 단점이 있다. 그리고 각 HBI 모듈들은 구형파 스위칭시 직류전압이 달라 시스템 설계, 예비부품보유의 다양성 및 유지관리가 곤란하다. 본 연구에는 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 그림 8과 같이 구형파 스위칭패턴을 반주기에 한 번식 회전시키면 직류전압은 1주기 반에 평형을 유지하도록 하였다. 제안된 순시무효전력보상 알고리즘을 직렬형 멀티레벨 인버터에 기본파 스위칭과 기본파 회전기법을 비교 검토한 결과 직류전압의 평형을 유지됨을 확인하였다.

3.3 제어회로

수학적인 모델링을 통하여 구한 STATCOM 시스템의 전달함수[8] 식 (4)로 부터 제어기는 STATCOM이 빠른 응답특성을 가지도록 설계하였다.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \alpha} = \frac{V_s^2 \left[\frac{s^2}{L} + s \frac{R}{L^2} + \frac{M^2}{L^2 C} \right]}{s^3 + 2 \frac{R}{L} s^2 + s(\omega^2 + \frac{R^2}{L^2} + \frac{M^2}{LC}) + \frac{M^2 R^2}{L^2 C}} = \frac{N(s)}{M(s)} \quad (4)$$

$$\text{여기서 } I(s) = V_s^2 \left[\frac{s^2}{L} + s \frac{R}{L^2} + \frac{M^2}{L^2 C} \right], H(s) = s^3 + 2 \frac{R}{L} s^2 + s(\omega^2 + \frac{R^2}{L^2} + \frac{M^2}{LC}) + \frac{M^2 R^2}{L^2 C} \text{ 이다.}$$

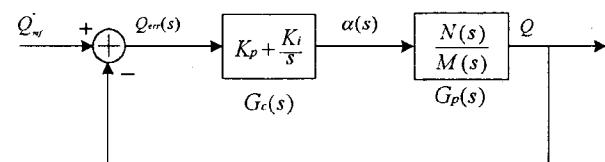


그림 9 페루프 시스템의 블록선도

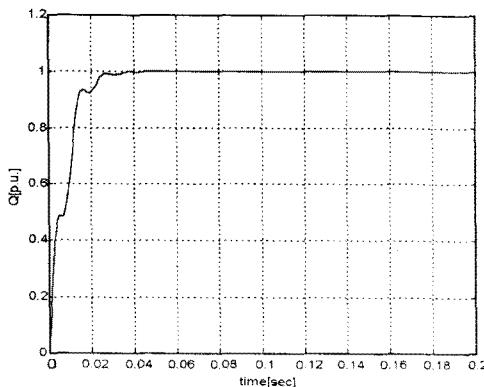


그림 10 페루프 시스템의 스텝응답

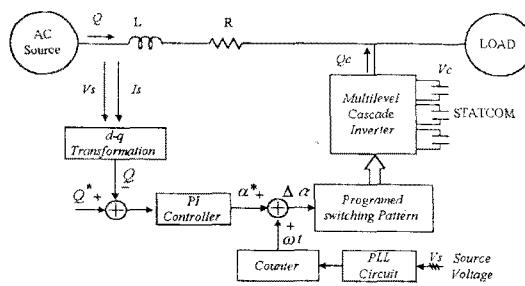


그림 10 STATCOM의 제어 블록도

원하는 부하에 의해 결정되는 무효전력량을 발생시키기 위해 PI제어기를 사용하여 파드백루프를 구성하였다. 그림 9는 PI제어기를 사용한 페루프시스템의 블록도이다. 이 플랜트의 전달함수는 $G_p(s)$, 제어기의 전달함수는 $G_c(s)$ 로 표현하였다.

$$G_p(s) = \frac{N(s)}{M(s)}, \quad G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (5)$$

페루프전달 함수는 아래의 식 (6)과 같다.

$$\frac{Q_c(s)}{Q_{ref}(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (6)$$

페루프시스템의 빠른 응답특성을 얻기 위하여 제어기의 파라메타는 $K_p = 5.6 e^{-3}$, $K_i = 1.8 e^{-3}$ 을 사용하였다. 그림 10은 페루프 시스템의 스텝응답을 보여주고 있다. 그림 10에서 같이 STATCOM 시스템은 정상상태에 도달하기 위해서는 1.5주기 정도의 응답특성을 갖는다. 단위계단응답으로부터 시간영역에서의 응답을 검토해 볼 때 양호한 특성을 나타내었다.

무효전력을 보상하기 위해서는 멀티레벨 출력전압을 조정하여야 하는데 이 전압은 스위칭함수의 변조지수와 직류전압의 곱으로 이루어 진다. 따라서 무효전력을 보상하는 데는 두가지 방법이 가능하다. 하나는 변조지수를 고정시킨 상태에서 전원전압과 멀티레벨 인버터의 출력전압의 위상차 즉 α 를 조정하여 직류전압을 변화시키는 방법과 다른 하나는 직류전압을 일정하게 유지하면서 변조지수를 조정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 전자인 변조지수를 고정시키고 위상차 α 를 제하는 방법을 사용하였다. 그림 10은 멀티레벨 인버터를 사용한 STATCOM의 제어블록도이다. 사용된 제어기는 PI 제어기를 사용하여 무효전력을 보상기로 구현하였고, 무효전력의 과도응답을 개선 할 수 있었다. d-q변환에 의해 전원전압 v_{sa}, v_{sb}, v_{sc} 와 전류 i_a, i_b, i_c 를 검출하여 순시무효전력 Q 를 계산하고, 지령치 Q^* 를 추종하도록 제어한다. 카운터는 PLL(Phase Locked Loop)을 사용하

여 전원측 상전압에 대한 정보, wt 와 PI제어기의 출력 α^* 의 차 $\Delta\alpha$ 에 따라서 제어를 하였다.

4. 시뮬레이션

멀티레벨 인버터를 사용한 STATCOM의 모델링을 기초로 시뮬레이션을 수행하였고, 시스템에 사용된 파라메타는 인덕터 $L = 5[mH]$, 직류 커패시터 $C = 2000[\mu F]$, Vs 220[V], Rs $0.5[\Omega]$ 무효전력보상용량은 10kvar로 하였다. 멀티레벨 인버터를 이용한 무효전력보상장치에서 구형파 스위칭을 하여 직류전압의 일정하게 제어하고 변조지수를 오프라인으로 제어한 장치 [6]와 본 연구에서 사용한 d-q변환을 사용하여 순시무효전력을 계산하여 변조지수를 고정시키고 직류전압의 변동에 따라 출력전압의 크기를 제어하여 무효전력을 보상하는 기법과 비교 검토하였다. 이 때에 스위칭을 패턴을 HBI 모듈별로 고정시킨 고정 스위칭기법과 스위칭패턴을 반주기에 한번씩 회전하는 회전스위칭기법에 대하여 스텝변동시 무효전력의 과도응답특성과 커패시터 직류전압의 불평형 정도를 조사하였다. 시뮬레이션에서 파형의 순서는 위부터 A상의 전원전압 v_{sa} , A상의 전원 전류 i_a , STATCOM의 A상의 출력전압 v_{ca} 이고 보상무효전력은 Q 이다. 그림 11은 멀티레벨 인버터에서 각 HBI를 기본파로 스위칭하며 선택된 고조파를 제거하도록 이미 계산된 값들에서 변조지수(MI)를 선택하고 직

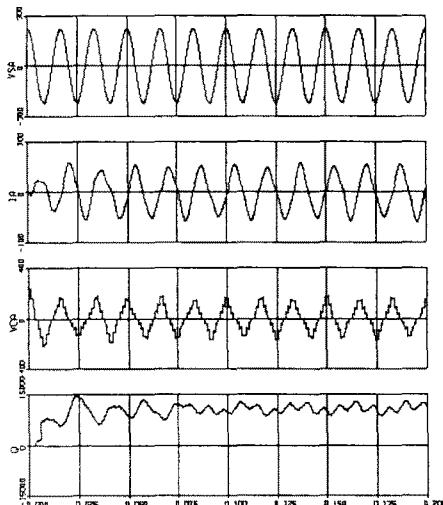


그림 11 직류전압제어에 의한 출력파형

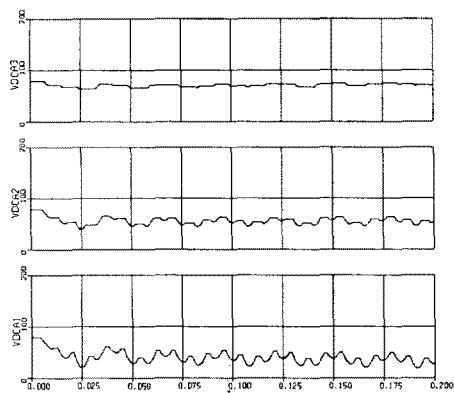


그림 12 직류전압 제어시 직류전압파형

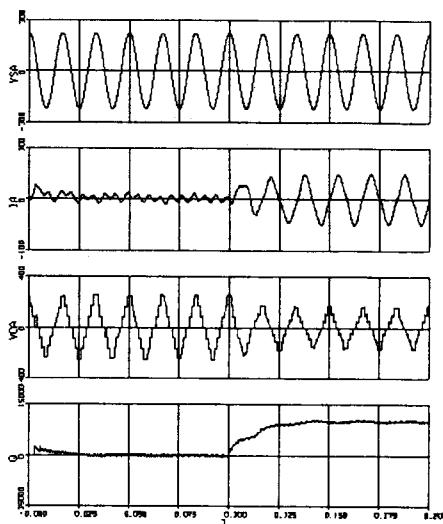


그림 13 기본파스위칭시 유도성 무효전력 발생(0에서 10kvar 스텝변동)

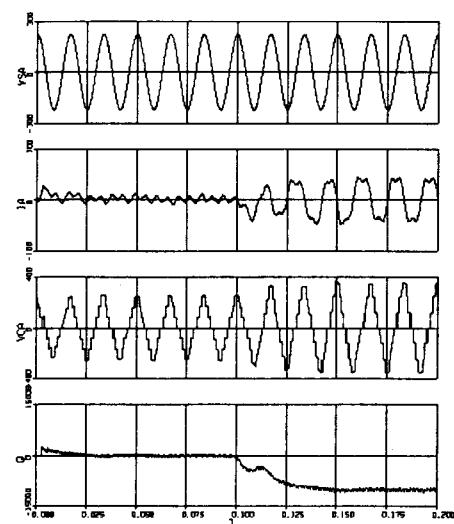


그림 15 기본파스위칭시 용량성 무효전력 발생(0에서 -10kvar 스텝변동)

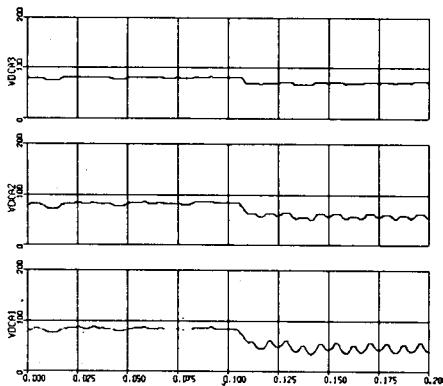


그림 14 기본파스위칭시 직류전압(0에서 10kvar 스텝변동)

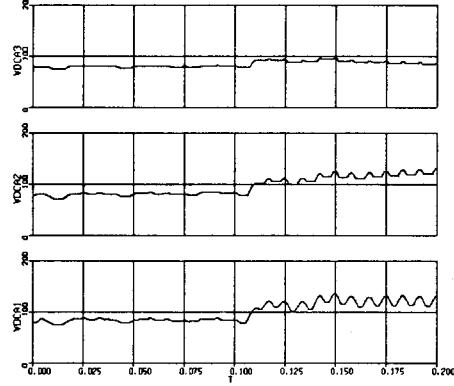


그림 16 기본파스위칭시 직류전압(0에서 -10kvar 스텝변동)

류전압을 일정하게 제어하면서 출력전압을 크기를 제어하여 무효전력을 보상하는 시뮬레이션을 결과 파형들이다. 그림 12는 각 HBI 모듈의 직류전압 파형으로 직류전압의 각 모듈별로 불평형이 이루어 짐을 확인하였고, 직류전압과 오프라인 방식에의한 변조지수를 제어하여 무효전력제어시 무효전력이 제어가 제대로 이루어 지지 않았다. 그림 13과 14는 기본파스위칭시 본 논문에서 소개된 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 STATCOM에서 순시무효전력 보상기법을 사용하여 0에서 10kvar로 스텝변동시 출력파형 및 직류 전압파형들로 유도성 무효전력을 발생하고 있다. 그림 15과 16은 0에서 -10kvar로 스텝변동시 출력파형 및 직류 전압파형들로 용량성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 17과 18은 기본파스위칭기법을 사용하여 0에서 10kvar로 스텝변동시 출력파형 및 직류 전압파형들로 유도성 무효전력을 발생하고 있다. 그림 19과 20은 0에서 -10kvar로 스텝변동시 출력파형 및 직류 전압파형들로 용량성 무효전력을 공급하고 있다. 시뮬레이션 결과를 검토하여 볼 때 STATCOM의 출력전압이 오프라인방식으로 변조지수를 제어 시 무효전력 제어가 어려웠고, 기본파스위칭기법과 기본파스위칭기법을 비교해 볼 때 두 경우다 무효전력의 스텝변동시 양호한 응답특성을 보이고 직류전압의 평형을 유지 할 수 있었다. 이 때에 스텝변동시 STATCOM은 약 1.5주기 정도의 과도상태가 존재하였다.

5. 결론

본 논문에서는 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용한 STATCOM의 새로운 제어기법을 제안하였다. 출력전압의 고조파 왜형율을 최소화하기 위한 스위칭패턴 및 커페시터 직류전압의 평형을 유지하기 위한 기본파스위칭기법이 제시되었고 기본파스위칭으로 스위칭손실을 가장 적게 줄이고 스위칭 주파수를 높이지 않고도 고조파가 적은 출력전압을 만들 수 있다. 제안된 기법은 기존의 전압형 인버터방식을 사용한 무효전력보상장치의 문제점들을 해결 할 수 있었고 직렬형 멀티레벨 인버터를 사용하여 오프라인방식으로 변조지수를 선택하고 출력전압의 크기를 조정하여 무효전력을 보상하는 기존의 방법은 응답속도가 느리고 일정한 구형과 스위칭패턴으로 직류전압 불평형으로 순시무효전력제어가 곤란하였는데 제안된 기법으로 이와 같은 문제점을 개선 할 수 있었다.

제안된 순시무효전력제어 및 스위칭기법을 사용하여 기제안된 제어기법보다 ±10kvar STATCOM의 정상태 및 과도응답특성을 개선 할 수 있었으며 시뮬레이션 통하여 제안된 기법들의 타당성을 입증하였다.

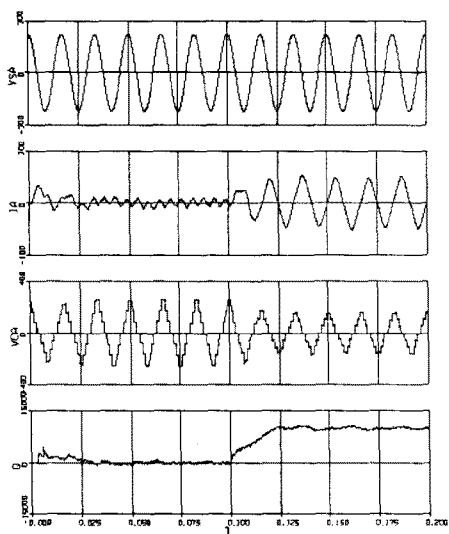


그림 17 기본파 회전스위칭시 유도성 무효전력 발생(0에서 10kvar 스텝변동)

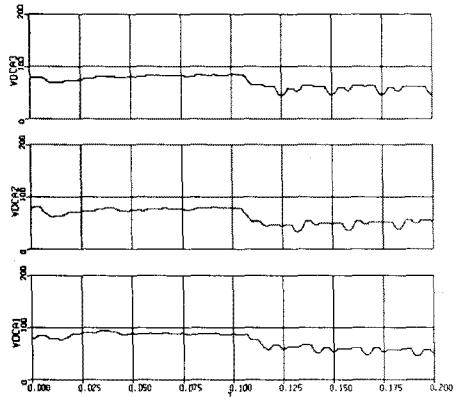


그림 18 기본파 회전 스위칭시 직류전압(0에서 10kvar 스텝변동)

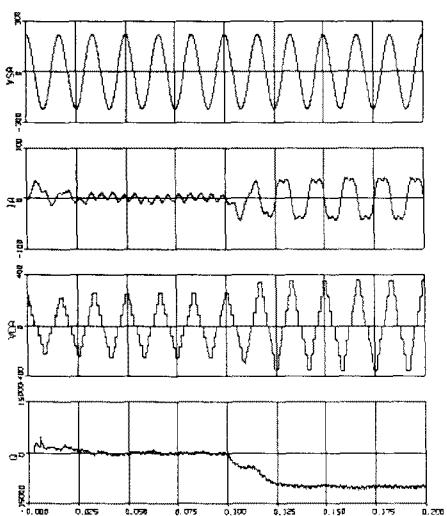


그림 19 기본파 회전스위칭시 용량성 무효전력 발생(0에서 -10kvar 스텝변동)

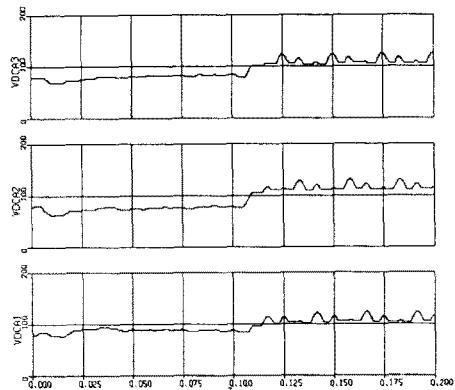


그림 20 기본파 회전 스위칭시 직류전압(0에서 -10kvar 스텝변동)

[참 고 문 헌]

- [1] S. Monri, et. al., "Development of Large Static Var Generator Using Self-Commutated Inverters for Improving Power System Stability" IEEE PES Winter Power Meeting, Paper no. 92 WM165-1, 1986
- [2] G.Joos, et al., "Performance analysis of PWM inverter var compensator", IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, pp. 380-391, May 1991.
- [3] Gyu H. Cho, et al., "Modeling and analysis of a static var Compensator using multilevel voltage source inverter", IEEE/IAS'94 Annual Meeting, pp 946-953, 1994
- [4] D. A. Woodford, et al., "Controlling a Back-to-Back DC Link to Operate as a Phase Shift Transformer." paper no. 14-202, GIGRE 1994
- [5] N Mohan, et al., " A novel, high frequency, per-phase static var compensator", in conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, Oct. 8-12, pp. 2581-2586, 1995
- [6] F. Z. Peng, et al., "Multilevel voltage source converter system with balanced DC voltage", IEEE IAS'94 Annual Meeting, pp. 1144-1150, 1995.
- [7] J. S. Lai, et al., "Multilevel Convereter of A New Breed of Power Converter", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 32, no. 3, pp.1996.
- [8] Wan Ki Min, et. al., "Control of STATCOM Using Multilevel Source inverter for High Power Application", Prcc. IEEE PEDS, Vol. 2, pp. 871-876, July 1999.