

## 배전선로 적용을 위한 새로운 무효전력보상치(ASVC)의 설계

민완기\* 이상훈 최재호

\*조선대 공업전문대 충북대학교 전기전자공학부

### Design of Advanced Static Var Compensator(ASVC) for Distribution Line

Wan ki Min\* Sang Hun Lee Jae Ho Choi

Choson University. Technical Junior College\* ChungBuk National University

**Abstract** - A cascade multilevel voltage source inverter is introduced to apply the advanced static var compensator(ASVC) for large scale power application. This cascade M-level inverter consists of  $(M-1)/2$  single-phase full bridges. This inverter is suitable to the flexible ac transmission systems(FACTS) including SVC, series compensation and phase shifting. It can solve the problems of conventional transformer-based multipulse inverters and multilevel diode-clamped inverters. From the simulation results, the validity of ASVC with cascade multilevel inverter is shown for high power application.

#### 1. 서론

대규모의 전력계통에서 순시 무효전력제어장치는 계통의 안정화 및 공급전압을 일정하게 유지하기 위해서는 필수적이다. 최근 전력용 반도체를 이용한 대용량 전력변환장치의 보급에 따라서 전압형 인버터를 이용한 무효전력보상장치(SVC)의 실 적용 및 연구들이 활발히 진행되고 있다. 변압기결선 방식에 의해서 무효전력제어 및 고조파 왜형율을 줄이고자 하였다.[1-2] 그러나 이 기법들은 설치비가 비싸고, 시스템 총손실의 크다는 단점을 가지고 있었고, 이와 같은 문제점들 개선하기 위한 방법으로 크램핑(Clamping) 다이오드와 프라잉(Flying) 커패시터 사용한 멀티레벨 인버터방식의 무효전력보상 장치들이 제안되었다.[3-5] 이 방식들은 역시 대용량에는 적용 가능하였으나 직류전압을 차단하기 위한 추가적인 크램핑 다이오드와 프라잉 커패시터가 필요하여 사용 부품들의 수요가 증가하고, 직류전압의 불균형을 문제가 발생하게 되었다.

본 논문에서는 멀티레벨 전압형 인버터를 사용하여 변압기 없이 배전선로에 적용하기 위한 새로운 무효전력보상장치(ASVC)를 설계 하였으며, 제안된 ASVC는 각 상에 여러개의 FBI(Full Bridge Inverter)를 직렬로 연결하여 구성하였고, 한 주기

에 한 번만 스위칭을 하여 스위칭손실 및 스너버손실을 저감 하였으며, 멀티레벨 인버터 구성시 동일한 FBI를 여러개 사용하여 모듈화가 가능하게 하였다. 멀티레벨 직렬 인버터들로 구성된 새로운 ASVC의 타당성을 입증하기 시뮬레이션을 수행하여 스텝변동시에 과도응답특성을 검토하였다.

#### 2. 멀티레벨 인버터

그림 1은 제안된 7 레벨의 직렬 인버터의 구조이다. 반주기 동안 M 레벨의 출력전압을 만들기 위해서 직렬 연결된  $(M-1)/2$ 개의 단상 FBI 유니트들로 구성된다. 각 전파 브리지는 자체의 직류원을 가진다. 그림 2는 7레벨 직렬 인버터에서 발생된 출력파형의 결과이며 출력상전압은 3개 유니트의 합인  $V_{cm} = V_{ca1} + V_{ca2} + V_{ca3}$ 이다. 순서적으로 직류원을 만들어 내는데 각 상별로 3개의 FBI 유니트를 교류전원에 연결 하였고, 각 소자는 한 주기에 한 번만 스위칭을 하게 된다. 기존의 멀티레벨 인버터에서 요구되는 부피가 큰 변압기, 크램핑 다이오드와 프라잉 커패시터들이 필요가 없고, 레벨의 수를 증가 함에 따라 거의 정현파 출력 전압에 가까운 다층 계단파 출력전압을 얻을 수 있다. 그리고 인버터의 구조는 여러개의 FBI들을 직렬연결 하였고, 각 FBI들은 독립된 직류전압원을 가지고 있다.

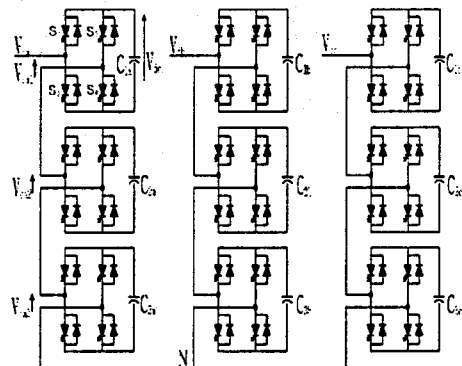


그림 1. 7 레벨 전압형 인버터의 구조

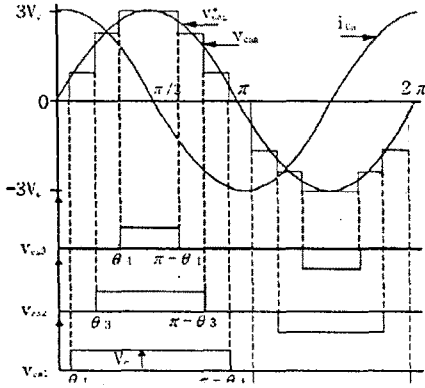


그림 2. 7 레벨 직렬 인버터의 출력파형

### 3. ASVC의 시스템 및 제어기법

#### 3.1 보상원리

그림 3은 ASVC를 직접전원에 접속했을때 단상등가 회로이고, ASVC의 출력전압  $V_c$ 이 이상적인 정현파전압이라고 가정하고, 전원전압  $V_s$ , 전원전류  $I_s$ , 등가저항  $R$ 과 임피던스  $L$ 이다. 전원측  $V_s$ 와  $V_c$ 의 위상차  $\theta$ 를 제어하여 무효전력의 발생량을 조절할 수 있다. 저항성분을 무시하고 전원전압  $V_s$ , SVC 출력전압  $V_c$ 와 전원전류  $I_s$  벡터도는 그림 4와 같다.  $V_s > V_c$ 이면 지상무효전력이 발생하고,  $V_s < V_c$ 이면 진상무효전력을 공급하게 된다. ASVC 출력전압의 진폭은 직렬인버터의 변조률(MI)과 커패시터에 충전된 직류전압에 의해 결정 된다. 본 논문에서는 PWM방식이 아닌 구형파 출력을 사용하고 있으므로 변조률의 일정하다고 가정하고,  $\theta$ 를 조정하여 직류전압을 제어하여 ASVC의 출력전압을 제어 하였다.

#### 3.2 시스템 모델링 및 제어

그림 5는 새로운 멀티레벨 인버터를 사용한 ASVC

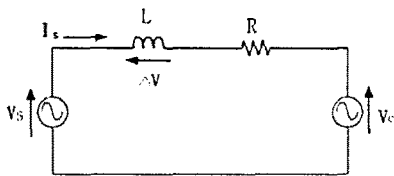


그림 3. 단상등가 회로

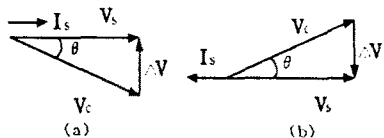


그림 4. (a)진상벡터도 (b)지상벡터도

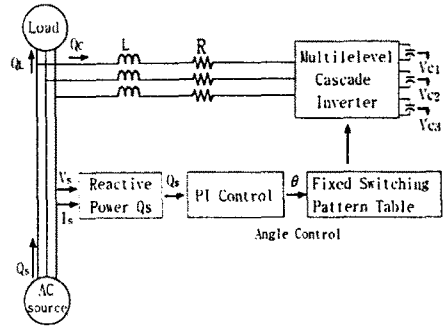


그림 5. ASVC 시스템 구성도

의 시스템 구성도이고, ASVC의 공급전원  $V_s$ 는 이상적이라 가정한다. 무효전력을 보상 알고리즘을 얻기위하여 D-Q변환하여 페루프 전달함수[6]는 구하면 식 (1)과 같다.

$$\frac{\hat{Q}_s(s)}{\hat{I}_s(s)} = C(sI - A)^{-1} B = \frac{M(s)}{D(s)} \quad (1)$$

여기서

$$M(s) = \frac{V_c^2}{L} \left[ s^2 + \frac{R_s}{L} s + \frac{D^2}{LC} \right]$$

$$D(s) = s^3 + \frac{2R_s}{L} s^2 + \left[ \left( \frac{R_s}{L} \right)^2 + \frac{D^2}{LC} + \omega^2 \right] s + \frac{D^2 R_s}{L^2 C}$$

사용된 제어기는 그림 6과 같이 무효전력을 PI 제어기를 사용하여 무효전력을 보상하였고, PLL을 사용하여 전원전압과 동기를 맞추어 ASVC의 출력전압  $V_c$ 는  $\theta$ 를 조정하여 제어하였다. 여기서 독립된 커패시터, 즉 FBI의 각 유니트의 직류전압은 일정하다고 가정한다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

제안된 멀티레벨 인버터를 이용한 ASVC의 타당성을 입증하기 위하여 디지털시뮬레이션을 수행하였다. 사용된 시스템 파라메타는  $L$  10mH,  $C$  2000uF ( $\sum C_i$ ),  $V_s$  2.2kV,  $R_s$  0.6  $\Omega$ , 무효전력용량은 1Mvar이다. 시뮬레이션에서 파형의 순서는 위부터 공급전원 A상 전압  $V_{sa}$ , SVC의 A상의 출력전압  $V_{ca}$ 이고, 보

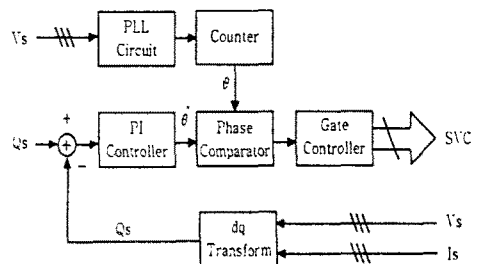


그림 6 SVC의 제어블록도

상무효전력량  $Q_s$ 이다. 그림 7과 8는 7레벨 인버터의 스텝변동에 대한 파형들로 그림 7은 무효전력의 지령치를 "0"에서 500kVar로 변동하였을 경우의 과도응답 특성에 대하여 조사하였고, 유도성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 8는 무효전력의 지령치를 "0"에서 -500kVar의 급변시켰을 때 응답특성에 관한 파형으로 그림 7과는 반대로 용량성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 9와 10은 11레벨 인버터의 스텝변동에 대한 파형들이다. 그림 9는 무효전력의 지령치를 "0"에서 500kVar로 변동하였을 때 과도응답 특성에 대하여 조사하였는데 그림 7과 같이 유도성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 10은 무효전력의 지령치를 "0"에서 -500kVar의 급변시켰을 때 응답특성으로 그림 9의 경우와는 반대로 용량성 무효전력을 공급하고 있다. 시뮬레이션결과 제안된 ASVC의 스텝변동시 약 1.5주기 정도의 과도상태가 존재하나 양호한 응답특성을 얻을 수 있었고, 또한 무효전력의 지령치를 잘 추종 하였으며, 레벨의 수를 증가함에 따라 정현파에 가까운 출력전압을 얻을 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문은 멀티레벨 인버터를 사용한 1Mvar ASVC의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과 스텝변동과 같은 과도상태에서 양호한 응답특성을 나타냈었다. 멀티레벨 인버터의 FBI에 수를 증가함에 한 주기에 단 한 번 스위칭을 하여 거의 정현파출력을 얻을 수 있었고, FBI의 수를 증가함에 따라서 변압기없이 대용량 FACTS설비에 적용이 가능할 것으로 판단되며, 대량생산시 FBI는 단순한 구조를 가지고 있으므로 모듈화가 가능하다.

### (참고문헌)

1. C.schauder et al., "Development of a  $\pm 100$  MVAR Static Condenser for Voltage Control of Transmission Systems," IEEE PES Summer Power Meeting, Paper No.94SM479-6PWRD, 1994.
2. L. H. Walker. "Force-commutated reactive power compensator," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-22, no. 6, pp. 1091-1104, Nov./Dec. 1986.
3. Nam S. Choi, Cuk C. Choi, and Gyu H. Choi, "Modeling and analysis of a static var Compensator using multilevel voltage source inverter", IEEE/IAS'94 Annual Meeting, pp 946-953, 1994
4. F. Z. Peng, J. S. Lai, J. V. Coevering. "Multilevel voltage source converter system with balanced DC voltage", IEEE IAS'94 Annual Meeting, pp. 1144-1150, 1995.
5. D. A. Woodford and R. W. Menzies, "Controlling a Back-to-Back DC Link to Operate as a Phase Shift Transformer." paper no. 14-202, GIGRE 1994
6. Wan-Ki Min, Yeong-Han Kim, Jae-Ho Choi, "A New Cascade Multilevel Voltage Source Inverter for High

Power Application of FACTS', in conf. Rec. IFAC/CIGRE, Aug. 1997.(to be presented)

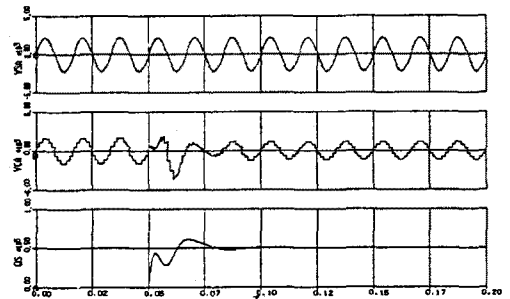


그림 7. 7레벨 인버터의 유도성 무효전력 발생과형 (0 에서 500kVar 스텝변동)

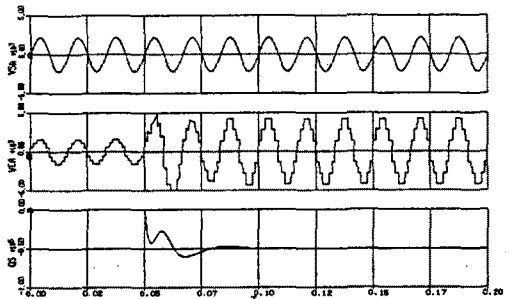


그림 8. 7레벨 인버터의 용량성 무효전력 발생과형 (0 에서 -500kVar 스텝변동)

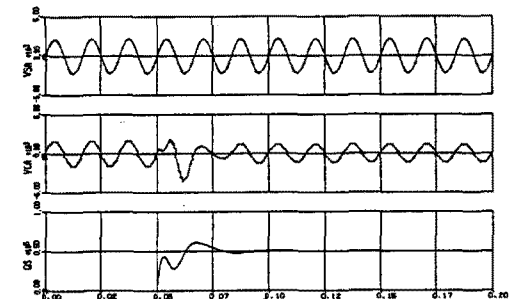


그림 9. 11레벨 인버터의 유도성 무효전력 발생과형 (0 에서 500kVar 스텝변동)

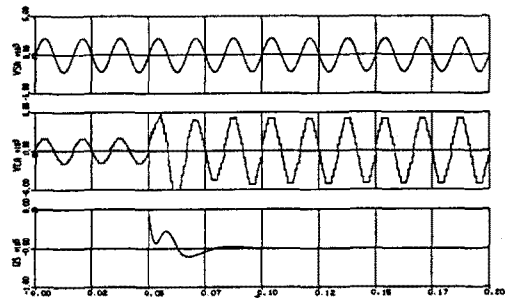


그림 10. 11레벨 인버터의 용량성 무효전력 발생과형 (0 에서 -500kVar 스텝변동)