

MULTILEVEL 전압형 인버터들을 사용한 D-STATCON의 제어

민완기* 민준기 최재호
 *조선대 공업전문대 충북대학교 전기전자공학부

Control of The D-STATCON Using Multilevel Voltage Source Inverters

Wan Ki Min* Jun Ki Min Jae Ho Choi
 Choson University, Technical Junior College* ChungBuk National University

Abstract - D-STATCON using the multilevel voltage source inverters is presented for voltage regulation and reactive power compensation in distribution system. This cascade M-level inverter consists of (M-1)/2 single phase full bridge inverter(FBI). This multilevel inverter is a natural fit to the flexible ac transmission systems(FACTS) including STATCON, 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 superiority of D-STATCON with cascade multilevel inverter is shown for high power application.

여 스텝변동시에 과도응답특성을 검토하였다.

2. 전압형 멀티레벨 인버터의 구조

그림 1은 7 레벨의 전압형 직렬 인버터들의 구조이다. 반주기 동안 M 레벨의 출력전압을 만들기 위해서 직렬 연결된 (M-1)/2개의 FBI 유니트들로 구성되며, 각 FBI는 자체의 독립된 직류원을 가진다. 그림 2는 하나의 FBI 구조로 IGBT들로 구성된 단상 컨버터의 구조를 갖는다. 그림 3은 7레벨 직렬 인버터에서 발생된 출력파형으로 상전압은 3개 FBI들의 유니트들의 출력전압의 합인 $V_{ca} = V_{ca1} + V_{ca2} + V_{ca3}$ 이다. 정해진 스위칭 패턴에 의해 순서적으로 FBI를 동작시킨다. 각 상별로 3개의 FBI 유니트를 교류전원에 연결하였고, 각 소자는 한 주기에 한 번만 스위칭을 한다. 이 때 멀티레벨 인버터의 상전압의 크기는 시비율에 따라서 조정되며 무효전력보상을 위해서는 상전류 I_{ca} 가 항상 상전압 V_{ca} 보다 90° 진상이나 지상이어야만 모든 직류커패시터의 평균 충전전압은 0이다.[4, 5] 그러나 그림 3과 같이 직렬형 인버터에 고조파 필터링기능이 부가되어 5차 고

1. 서 론

최근 전력계통에서는 전력의 품질을 향상시키기 위한 방법으로 무효전력보상장치의 중요성이 새롭게 나타나고 있으며 계통의 안정화 및 공급전압을 일정하게 유지하기 위해서는 무효전력보상장치가 필수적이다. 최근 전력용 반도체를 이용한 대용량 전력변환장치의 보급에 따라서 전압형 인버터를 이용한 무효전력보상장치의 실적용 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 크래핑(Clamp-ing) 다이오드와 프라이밍(Flying) 커패시터 사용한 멀티레벨 인버터방식의 무효전력보상장치들이 제안되었다.[3] 이 방식들은 역시 대용량에는 적용 가능하였으나 직류전압을 차단하기 위한 추가적인 크래핑 다이오드와 프라이밍 커패시터가 필요하여 사용 부품들의 수요가 증가하는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 단점을 개선하고자 직렬형 멀티레벨 인버터가 제안되었는데 이 방식들은 고차 고조파전류 흐름 경우는 직류전압의 불균형을 문제가 발생하게 되었다.[4, 5]

본 논문에서는 멀티레벨 전압형 인버터들을 이러한 문제점들을 개선하고, 변압기 없이 배전선로에 적용하기 위한 고압 대용량의 D-STATCON의 타당성을 검토하였다. 또한 이러한 D-STATCON을 사용하여 무효전력보상과 전압보상을 하였으며, 직렬형 인버터들의 직류전압의 평형을 위한 새로운 스위칭기법이 제안되었다. D-STATCON은 각 상에 여러개의 FBI(Full Bridge Inverter)를 직렬로 연결하여 구성하였고, 한 주기에 한 번만 스위칭을 하여 스위칭손실을 저감 할 수 있다. 멀티레벨 직렬형 인버터들로 구성된 새로운 배전선로용 STATCON의 타당성을 입증하기 시뮬레이션을 수행하

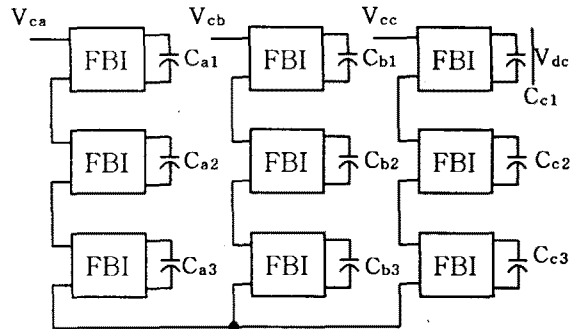


그림 1. 7 레벨 전압형 인버터의 구조

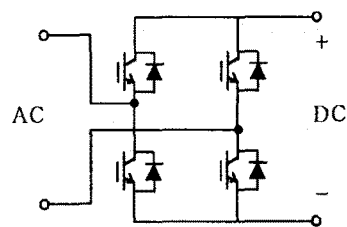


그림 1 IGBT로 구성된 FBI의 구조

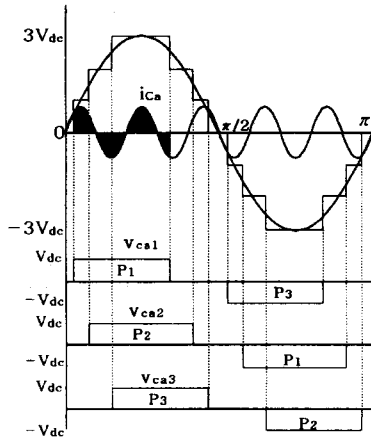


그림 3. 7 레벨 인버터의 출력전압

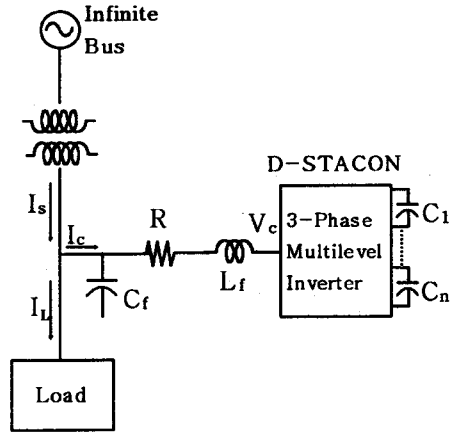


그림 6. D-STATCON 시스템 구성도

조파가 흐르게 되면 각 FBI의 직류 커패시터의 불평형이 발생되게 되는데 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 펄스 P₁에서 P₃의 한주기 반에 걸쳐서 반복한다면 직류 커패시터는 거의 같게 충전과 방전을 하게 된다. 그리고 인버터의 구조는 여러개의 FBI들을 직렬연결 하였고, 각 FBI들은 독립된 직류 전압원을 가지고 있다.

3. D-STATCON의 시스템 및 제어기법

3.1 보상원리 및 제어

그림 4는 D-STATCON를 직접 전원에 연결하였을 경우 단상등가 회로이고, D-STATCON의 출력전압 V_c이 이상적인 정현파전압이라고 가정하고, 전원전압 V_s, 전원전류 I_s, 등가저항 R과 임피던스 L이다. 전원측 V_s와 V_c의 위상차 θ를 제어하여 무효전력의 발생량을 조정할 수 있다. 저항성분을 무시하고 전원전압 V_s, STATCON의 출력전압 V_c와 전원전류 I_s 벡터도는 그림 5와 같다. V_s > V_c이면 지상무효전력이 발생하고, V_s < V_c이면 진상무효전력을 공급하게 된다. D-STATCON 출력전압의 진폭은 직렬인버터의 커패시터에 충전된 직류전압에 의해 결정 된다. 본 논문에서는 PWM방식이 아닌 구형파 출력을 사용하고 있으므로 변조률의 일정하다고 가정하고, θ를 조정하여 직류전압을 제어 하였다.

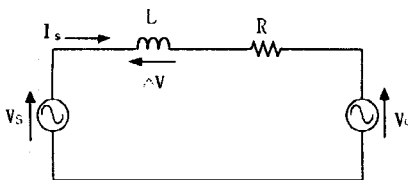


그림 4. 단상등가 회로도

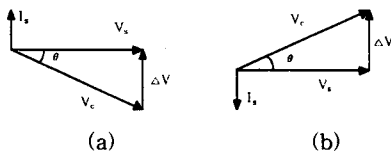


그림5. (a)진상벡터도 (b)지상벡터도

그림 6는 멀티레벨 인버터를 사용한 STATCON의 시스템 구성도이고, D-STATCON의 공급전원 V_s는 이상적이라 가정한다. 무효전력을 보상 알고리즘을 얻기 위하여 D-Q변환하여 페루프 전달함수(6)는 구하면 식 (1)과 같다.

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

여기서

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

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

사용된 제어기는 그림 7과 같이 무효전력을 PI 제어기를 사용하여 무효전력을 보상하였고, PLL을 사용하여 전원전압과 동기를 맞추어 D-STATCON의 출력전압 V_c는 θ를 조정하여 제어하였다. 여기서 독립된 커패시터, 즉 FBI의 각 유니트의 직류전압은 일정하다고 가정한다.

4. 시뮬레이션 결과

제안된 멀티레벨 인버터를 이용한 D-STATCON의 타당성을 입증하기 위하여 디지털시뮬레이션을 수행하였다. 사용된 시스템 파라메타는 7 mH, C 2000uF, V_s 2.2kV, R_s 0.5 Ω, 무효전력보상용량은 1Mvar이다.

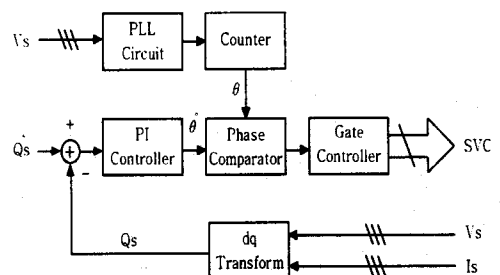


그림 7 STATCON의 제어블록도

시뮬레이션에서 파형의 순서는 위부터 공급전원 A상 전압 V_{sa} , STATCON의 A상의 출력전압 V_{ca} 이고, 보상무효전력 Q_s 이다. 그림 8과 9는 7레벨 인버터를 사용하여 D-STATCON의 무효전력보상 파형들이다. 그림 8은 무효전력의 지령치를 500kVar로 주었을 경우의 파형으로 유도성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 9는 무효전력의 지령치를 -500kVar의 주었을 경우로 용량성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 10과 11은 7레벨 인버터의 스텝변동에 대한 파형들이다. 그림 10은 무효전력의 지령치를 "0"에서 500kVar로 변동하였을 때 과도응답 특성에 대하여 조사하였는데 그림 8과 같이 유도성 무효전력을 공급하고 있다. 그림 11은 무효전력의 지령치를 "0"에서 -500kVar의 급변시켰을 때 과도응답 특성으로 그림 10의 경우와는 반대로 용량성 무효전력을 공급고 있다. 시뮬레이션결과 제안된 D-STATCON의 스텝변동시 약 1.5~2주기 정도의 과도상태가 존재하나 양호한 응답특성을 얻을 수 있었고, 또한 무효전력의 지령치를 잘 추종 하였으며, 레벨의 수를 증가함에 따라 정현파에 가까운 출력전압을 얻을 수 있다.

5. 결론

본 논문은 멀티레벨 인버터를 사용한 1Mvar D-STATCON의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과 스텝변동과 같은 과도상태에서 양호한 응답특성을 나타냈었다. 새로운 스위칭기법을 사용한 멀티레벨 인버터는 기존에 배전선로에 사용하던 PWM인버터 보다 고효율, 저손실의 STATCON으로 FBI에 수를 증가함에 한 주기에 단 한 번 스위칭을 하여 거의 정현파출력을 얻을 수 있고, 변압기없이 대용량 FACTS 설비 및 고전압 전력변환장치에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

1. C. schauder et al., "Development of a ± 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", IFAC/CIGRE Sysposium, CPSPP'97, pp. 295-300, Aug. 1997.

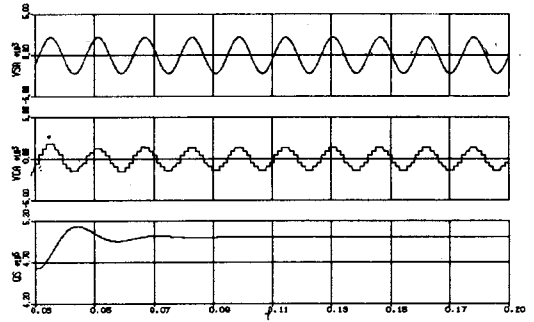


그림 8 7레벨 인버터의 유도성무효전력공급 파형

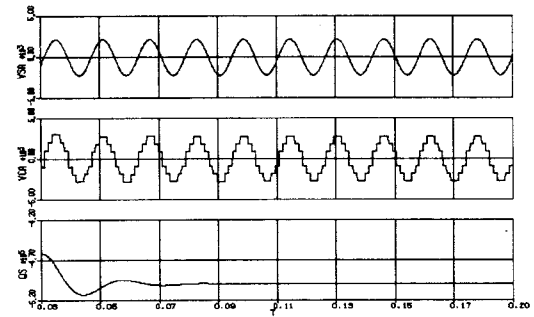


그림 9 레벨 인버터의 용량성무효전력 공급파형

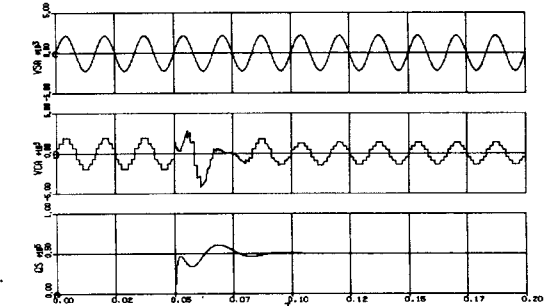


그림 10. 7레벨 인버터의 유도성 무효전력 발생파형 (0에서 500kVar 스텝변동)

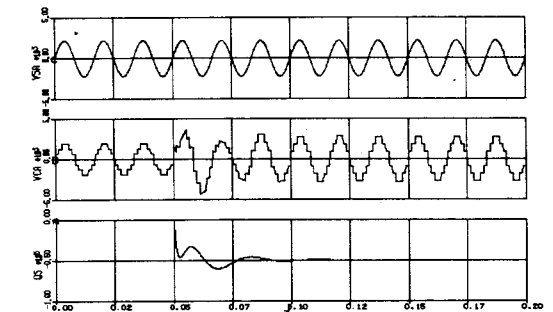


그림 11. 7레벨 인버터의 용량성 무효전력 발생파형 (0에서 -500kVar 스텝변동)