

분산전원이 도입된 배전계통에서 커패시터 스위칭에 의한
과도현상 방지에 대한 연구

이 동 구, 황 진 수, 주 용 환*, 김 재 언
충북대학교 전기공학과, 철 도 철*

A Study on Preventing Transient Phenomena Due to Capacitor Switching
in Distribution System involving Distributed Generation System

D. G. Lee, J. S. Hwang, Y. H. Ju*, J. E. Kim
Chungbuk National Univ., Korean National Railroad*

Abstract - This paper presents a study of transient overvoltages caused by capacitor switching on the utility distribution system. Capacitor banks used for power factor correction and voltage regulation can improve efficiency of the power system. But transient voltages due to capacitor switching on the utility system affect the sensitive customer load equipments. If Distributed Generation System (DGS) is involved in the system, the problems become more serious.

In this paper, effect of transient voltages at the customer load created by utility capacitor switching is analyzed by simulations. Solutions to this problem are presented.

1. 서 론

전력계통에서 사용되는 커패시터 뱅크는 계통에 무효 전력을 공급해 줌으로써 역률을 보상하고 전압의 크기를 조정해 주는 역할을 한다. 그러나 최근들어 계통에 투입된 커패시터에 의해 발생하는 원치 않는 현상들이 점차 새로운 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 현상으로는 과도 전압의 발생과 확대현상, 그리고 공진에 의한 고조파의 발생등이 있다.

커패시터 뱅크가 스위칭 동작이 이루어질 경우에 발생하는 과도현상은 계통내에서의 영향이 미미한 관계로 지금까지는 별 문제로 취급되지 않았다. 그러나 최근 들어 전력 품질에 민감한 전력전자 소자의 사용이 급증하면서 이러한 기기들이 과도현상에 의해 오동작이나 동작정지 상태를 일으키게 되는 심각한 문제점이 나타나게 되었다. 그 대표적인 예로 민감한 기기중의 하나인 ASDs (Adjustable Speed Drives)의 경우는 이러한 과도현상에 의한 과전압의 영향으로 자주 트립되는 현상이 발생하게 된다.

또한 커패시터 뱅크에 의해 공진이 발생할 경우 특정치 이상의 고조파가 발생되게 되며 이로 인해 계통 전압의 왜곡이 증가되는 현상이 나타나게 된다. 이에 따라 커패시터 뱅크의 도입에 의해 오히려 계통의 역률이 감소하게 될 수도 있다.

본 연구에서는 커패시터 스위칭에 의한 과도현상과 과전압에 대해 설명하고 있다. 또한 이 과도현상에 대하여 배전 계통 내에 분산전원(Distributed Generation System)이 도입됐을 때를 가정하여 모델링한 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 커패시터 뱅크의 설치로 인해 나타나는 현상들이 부하에 대해 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 분석하고 검토하였다. 분산전원으로는 유도발전기의 경우를 고려하였다. 그리고 마지막으로 이러한 문제점들에 대한 해결책에 대해 다루고 있다.

2. 분산전원이 도입된 배전계통에서의
커패시터 스위칭의 영향

2.1 커패시터 스위칭

배전계통에 투입되는 커패시터 뱅크는 초기에는 계통에서 분리되어 있어 충진이 되지 않은 상태이므로, 스위칭되어 계통에 투입되는 순간에 단락상태와 같이 되어 영전압으로 급격히 떨어지게 된다. 그리고 이를 회복하기 위하여 순간적으로 오버슈트가 발생하게 되어 과도현상이 나타나게 된다.

일반적으로 부하측에도 역시 역률보상용의 커패시터가 설치되어 있다. 계통측 커패시터 뱅크의 스위칭에 의해 발생한 과도전압은 고압측과 저압측 각각의 커패시터와 그 사이의 변압기에 의해 각각 LC 직렬공진을 일으키게 되고, 특정 주파수에 가까워질수록 그 크기가 확대되고 어느 순간은 그 값이 최대로 나타나게 될 것이다. 따라서 과도전압의 크기는 스위칭되는 커패시터 뱅크와 부하측 분산전원용 커패시터 용량, 그리고 변압기 용량에 의해 영향을 받게 된다.

과도전압은 배전계통에 대해서는 그리 큰 영향을 미치지 않지만, 부하측에 대해서는 민감한 기기가 연결되어 있다면 기기의 오동작이나 손상 등의 심각한 피해를 발생시킬 수도 있다. 전동기의 속도를 제어하는 ASDs 같은 기기들은 순간적이고 작은 전압 증가에 의해서도 직류 과전압 트립장치가 동작하기 쉽기 때문에 특히 커패시터 스위칭에 의한 과도전압의 영향을 크게 받는다.

계통측에 비해 비교적 적은 용량의 발전을 하는 분산전원의 경우도 이러한 과도전압의 영향을 받게 되어 출력에 변화가 일어날 수 있다.

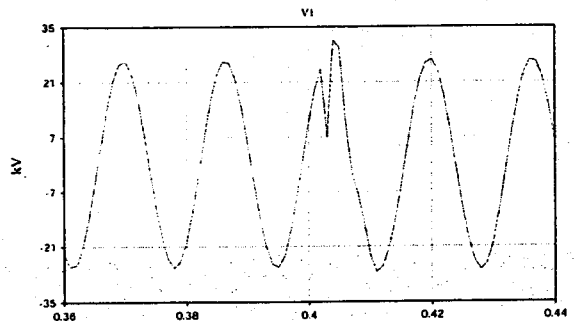


그림 1 커패시터 스위칭에 의해 발생하는
과도전압 파형

2.2 시스템 모델링

그림 2는 배전계통의 시스템 모델을 나타낸다.

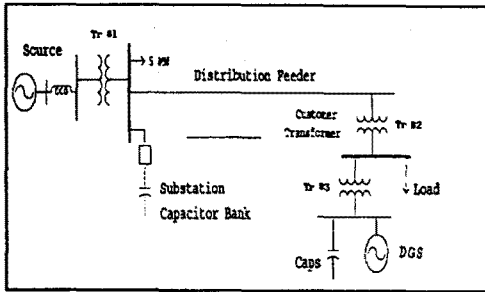


그림 2 배전계통 모델의 단선도

각각의 시스템 파라미터는 다음과 같다.

- System Source Strength at the Substation : 200 MVA
- Switched Capacitor Bank Size : 3 MVAR
- Total Feeder Load : 5 MW
- Customer Transformer Size : 1500 kVA (6% Impedance)
- Customer Resistive Load : 300 kW

시스템 모델은 부하측에 분산전원이 연결된 3상 배전계통으로 구현하였다. 분산전원으로는 500HP의 유도발전기를 연결하였다. 각각의 변압기 전압비는 Tr#1이 154/22.9 kV, Tr#2가 22.9/0.48 kV, Tr#3는 0.48/13.8kV으로 설정하였다.

먼저 커패시터의 스위칭 시 계통 및 부하측에 나타나는 전압의 변화를 알아보기 위해 시스템의 동작 시작 후 0.403초에 차단기를 닫아 커패시터 뱅크를 계통에 투입하였다. 그림 3과 4는 각각 계통과 부하에서의 스위칭 순간의 전압 변화를 나타낸다.

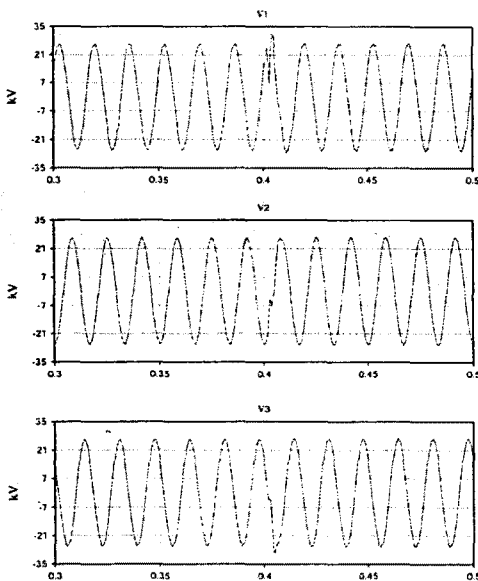


그림 3 계통측 3상 전압 파형

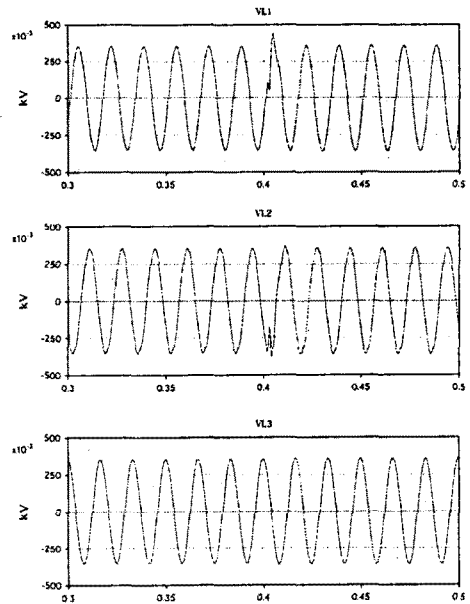


그림 4 부하측 3상 전압 파형

커패시터의 스위칭 순간에 발생한 과도전압은 계통측에서는 A 상에서 최대 1.5 p.u.가 측정되었으며, 부하측에서는 역시 A 상에서 1.25 p.u.가 나타났다. 이 정도의 전압 변화는 ASDs의 과전압 보호장치를 동작시키기에 충분한 크기이다.

또한 과도전압은 부하측의 분산전원에까지 영향을 주어 분산전원에서 출력되는 유효전력과 무효전력에 파형 변화가 나타난다.

그림 5는 커패시터가 스위칭되는 순간에 분산전원에서 나타나는 유효전력과 무효전력의 파형이다. 여기서는 유도발전기 쪽으로 들어가는 방향이 양의 방향이 된다. 커패시터가 계통에 투입되는 순간인 0.403초에 각 전력의 파형에 비정상적인 변화가 발생됨을 알 수 있다.

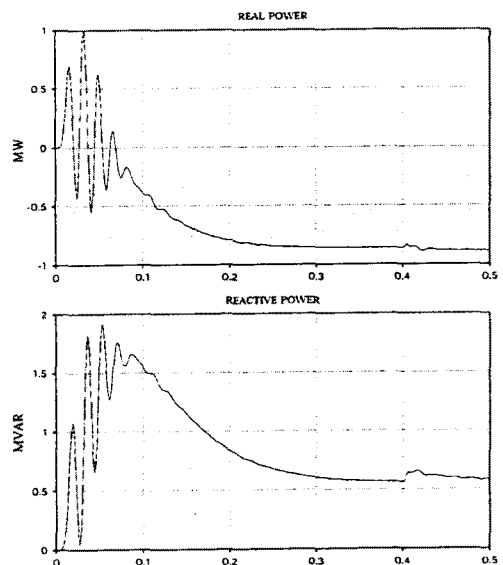


그림 5 분산전원 출력 파형

2.3 과도 전압의 확대

발생되는 과도전압의 크기는 커패시터 뱅크 용량, 변압기 용량 및 부하측 역률보상용 커패시터의 용량과 밀접한 관계가 있다.

부하측 역률보상용 커패시터에 비해 계통측의 커패시터 뱅크의 크기가 훨씬 크거나, 주파수가 변압기와 커패시터 사이의 직렬공진 주파수에 근접하게 되면 발생된 과도전압의 크기가 확대되게 된다. 일반적으로 과도전압은 계통전압의 1.1~1.6배 정도이나 최악의 경우에는 2배 이상을 넘어가는 경우도 있다.

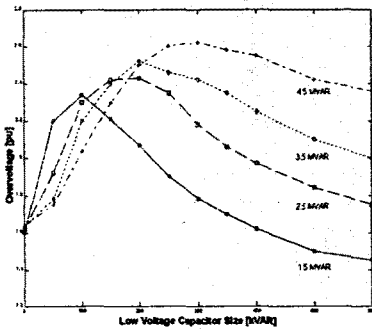


그림 6 커패시터 용량에 따른 과도전압 크기

그림 6은 스위칭 커패시터 뱅크와 부하측 커패시터의 용량비에 따른 과도전압의 크기 변화를 나타내고 있다. 과도전압의 크기는 두 개의 커패시터의 용량비에 따라서 변화된다. 커패시터 뱅크의 용량이 부하측의 역률보상용 커패시터 용량에 비해 상대적으로 클수록 발생하는 과도전압의 크기가 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 부하측 용량의 10배 이상일 경우에 과도전압의 크기가 최대로 된다.

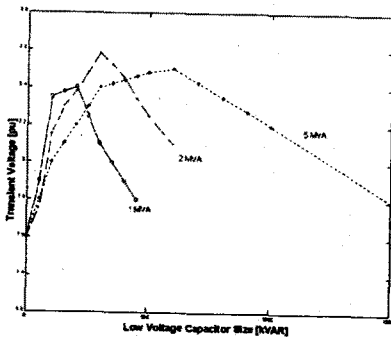


그림 7 변압기와 커패시터 용량에 따른 과도전압 크기 변화

그림 7은 저전압측 변압기 용량과 부하측 커패시터 용량에 따른 과도전압의 크기 변화를 보여준다. 그림에서 보면 동일한 커패시터 용량에 대해서 변압기 용량이 클수록 과도전압의 크기가 증가함을 알 수 있다. 또한 변압기 내부 임피던스와 커패시터 사이에 공진이 발생할 경우에 과도전압이 상대적으로 큰 폭으로 증가됨을 알 수 있다.

2.4 커패시터 스위칭 과도전압 문제 해결

배전계통에서의 커패시터 스위칭에 의한 과도현상을

제어하기 위한 방법에는 몇가지가 있다. 우선은 문제점에 대한 정확한 확인이 필요하고, 그 다음에 가장 효율적인 해결방안을 찾아야 한다. 일반적으로 사용되는 과도현상 제어 방법은 다음과 같다.

- 커패시터 뱅크에 저항이나 인덕터를 설치하여 커패시터의 순간적인 충전으로 인해 발생하는 과도현상을 제어한다.
- 저전압측에 MOV 어레스터(arrester)를 설치한다.
- 직렬 인덕터(Choke)를 부하측에 설치함으로써 과도현상을 방지할 수 있다.

이 중 앞에서 언급했던 ASDs의 트리핑에 대한 대책으로써 직렬 인덕터의 설치도 보편적으로 사용되고 있다. 인덕터를 설치함으로써 ASD에 공급되는 과도전압을 보호장비 동작한계점인 1.2~1.3 p.u. 이하로 낮출 수가 있다. 인덕터는 변압기 용량의 5% 정도가 적당하고, 그 이상을 사용하더라도 효과에는 별 차이가 없게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 역률보상을 위해 사용되는 커패시터 뱅크에 의해 발생하는 과도전압에 대해 분산전원을 고려한 배전계통을 모델링하여 시뮬레이션하고 이를 확인하였다. 그리고 계통측과 부하측 커패시터와 변압기 용량 사이의 관계에 따른 과도전압의 크기 변화를 측정하여, 과도전압이 최대가 되는 조건을 알아보았다.

또한, 부하측의 과도전압을 최소화시키기 위한 몇가지 방법을 제시하고, 그 중에 직렬 인덕터의 설치를 통한 과도전압의 제어 방법에 대해 설명하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.F.McGranaghan, *et al.*, "Impact of Utility Switched Capacitors on Customer Systems - magnification at Low Voltage Capacitors", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.2, pp862-868, 1992.
- [2] M.F.McGranaghan, *et al.*, "Impact of Utility Switched Capacitors on Customer Systems Part II - Adjustable-Speed Drive Concerns", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.6, No.4, pp1623-1628, October 1991.
- [3] T.E.Grebe, "Application of Distribution System Capacitor Banks and Their Impact on Power Quality", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, No.3, 1996.
- [4] T.E.Grebe, "Utility Capacitor Switching Causes Nuisance Tripping of ASD", PQGroup Case History, TG11049, January 28, 2000.
- [5] A.A.Girgis *et al.*, "Harmonics and Transient Overvoltages Due to Capacitor Switching", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.29, No.6, pp1184-1188, November/December 1993.
- [6] J.Balcells, D.Gonzalez, "Harmonics Due to Resonance In a Wind Power Plant", International Conference on Harmonics and Quality of Power ICHQP, 1998.
- [7] T.E.Grebe, E.W.Gunther, "Application of the EMTF for Analysis of Utility Capacitor Switching Mitigation Techniques", IEEE/PES and NTUA, Athens, Greece, October 14-16, 1998.