

정지형 무효 전력 보상기 간의 상호 간섭 연구

김희진*, 허 건*, 장병훈**, 하용구**
 연세대학교*, 한국전력공사 전력연구원**

Dynamic Interaction Research among Static Var Compensators

Heejin Kim*, Kyeon Hur*, Byung Hoon Chang**, Yong Gu Ha**
 Yonsei University*, Korea Electric Power Research Institute**

Abstract - 전력의 흐름을 제어하기 위하여 유연 송전 시스템(Flexible AC Transmission System, FACTS)이 전력 계통에 다수 설치되었고, 앞으로도 설치되는 FACTS 기기의 수가 늘어날 예정이다. 특히, 전력 수요가 많은 수도권에는 안정도와 안전도를 확보하기 위해 FACTS 중 하나인 정지형 무효 전력 보상기(Static Var Compensator, SVC)의 설치 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 SVC 기기 간의 상호 간섭 가능성을 제시하고 Kundur 모델의 PSS/e 시뮬레이션을 통해 SVC 기기 간의 상호 간섭이 발생할 수 있음을 확인하고자 한다.

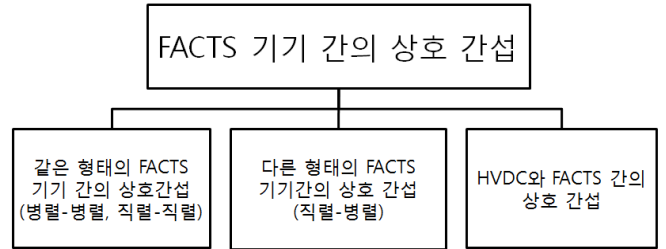
1. 서 론

유연 송전 시스템(Flexible AC Transmission System, FACTS)이란, 전력 공급의 유연성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 전력 전자 기반의 싸이리스터 및 GTO를 사용하여 선로로 전송되는 유효전력을 보상하고 제어하는 시스템이다. FACTS 설비가 송전 계통에 설치되면, 전력 흐름의 효율적인 제어를 통하여 기존의 송전 설비의 이용률을 향상시켜 신규 송전 선로 건설을 억제할 수 있고, 기존 계통의 불확실성에 대한 대책으로 안정도와 안전도를 향상시켜 계통의 신뢰도를 높일 수 있다[1]. 하지만 수도권에 FACTS 기기가 다수 설치되면 지리적으로 전기적으로 가까운 FACTS 기기 간의 상호 간섭이 발생할 가능성이 있다. 병렬 타입의 FACTS 기기인 정지형 무효 전력 보상기(Static Var Compensator, SVC) 간의 상호 간섭에 대해서 Hydro-Quebec에서 제안한 적이 있고[2], EPRI 보고서에서도 다양한 SVC 기기 사이에 발생할 수 있는 상호 간섭을 보고하였다[3].

따라서 본 논문에서는 전력 계통에서 보편적으로 많이 사용하고 있는 병렬 형태의 FACTS 기기인 SVC에 초점을 맞추어 상호 간섭 가능성을 알아보겠다. 그리고 Kundur의 2-Area, 4-machine 모델에 SVC를 설치하고 설치된 SVC 기기 간의 상호 간섭 가능성을 PSS/e 시뮬레이션을 통해 확인해보고자 한다.

2. 본 론

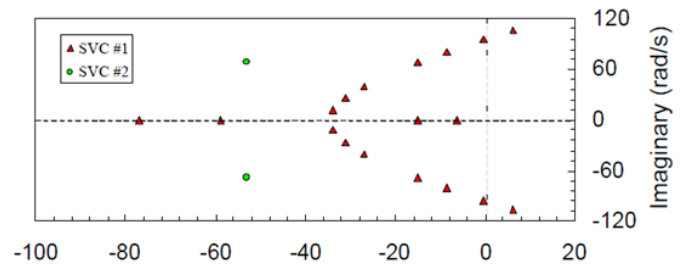
FACTS는 크게 직렬, 병렬, 그리고 두 가지를 혼합한 직병렬 형태로 분류된다. 첫 번째 형태는 직렬로 직렬형 유연 송전 시스템(Static Synchronous Series Compensator, SSSC), 싸이리스터 제어형 직렬 보상기(Thyristor Controlled Series Compensator, TCSC) 등이 있고, 두 번째는 병렬 형태로 정지형 동기 조상기(Static Synchronous Compensator, STATCOM)와 SVC 등이 있다. 그리고 직병렬 형태로 종합 조류 제어기(Unified Power Flow Controller, UPFC)가 있다. 이 외에 고압 직류 송전 시스템(High Voltage Direct Current, HVDC)도 FACTS 기기로 분류된다. 이 분류를 토대로 FACTS 기기 간의 상호 간섭 가능성은 그림 1과 같이 3가지로 분류된다[4]. 첫 번째는 같은 형태의 FACTS 간의 상호 간섭으로 SVC 기기 간의 상호 간섭이라든지, TCSC 기기 간의 상호 간섭이 이에 해당된다. 두 번째는 다른 형태의 FACTS 간의 상호 간섭으로 직렬 FACTS 기기인 TCSC와 병렬 FACTS 기기인 SVC 사이의 상호 간섭을 그 예로 들 수 있다. TCSC와 SVC 사이에는 상호 간섭이 없는 것으로 알려져 있지만, TCSC에 사용되는 Power Swing Damping Controller와 SVC 사이에 상호 간섭 가능성이 있는 것으로 알려져 있다[5]. 세 번째는 HVDC와의 상호 간섭으로 SVC와 HVDC 사이의 상호 간섭이 대표적이다. SVC와 HVDC 사이에는 제어 간섭(Control Interaction) 가능성은 크지 않지만, SVC와 HVDC 모두 빠른 싸이리스터 장치를 사용하기 때문에 고주파 간섭(High Frequency Interaction) 가능성이 있다[3].



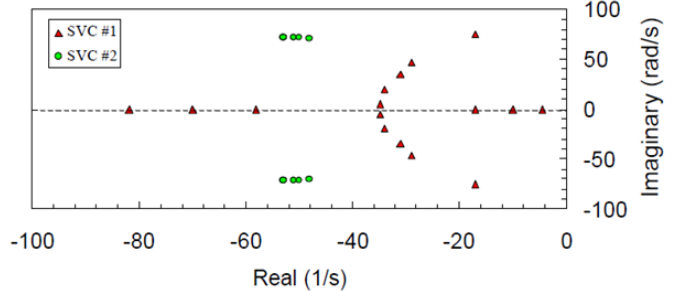
<그림 1> FACTS 기기 사이의 상호 간섭의 분류

2.1 SVC 기기 간의 상호 간섭

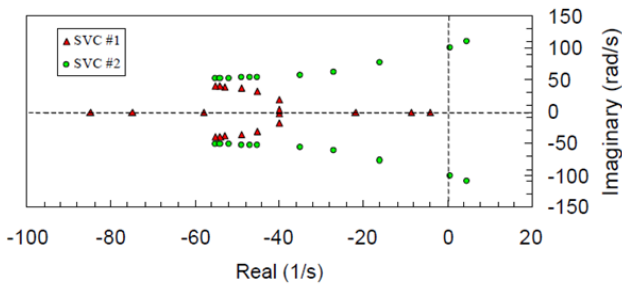
SVC 기기 간의 상호 간섭은 기기 간의 임피던스의 크기에 따라 그 영향성에 차이가 나타난다[3]. SVC 사이의 임피던스가 크면, 그림 2과 같이 SVC 간 상호 간섭은 나타나지 않는다. 그림 2에서는 SVC 1의 제어기의 이득을 크게 해도 SVC 2에 미치는 영향이 없다. 하지만 SVC 기기 간의 임피던스가 작으면 두 가지 경우로 나누어서 고려해야 한다. 첫 번째는 단락 용량이 큰 경우이다. 기기 간의 임피던스가 작고 단락 용량이 큰 경우, SVC 기기 간의 상호 간섭은 거의 나타나지 않는다. 그림 3과 같이 SVC 1의 이득을 크게 했을 때, SVC 2의 특성 근이 거의 이동하지 않는다. 하지만 SVC 사이의 임피던스가 작고 단락 용량이 작은 경우에 SVC 기기 간의 상호 간섭이 일어난다. 그림 4는 전기적 거리가 가깝고 단락 용량이 작은 경우의 근 궤적으로 SVC 1의 이득을 크게 함에 따라 SVC 2의 특성 근이 불안정 영역으로 이동한다.



<그림 2> SVC 간의 임피던스가 큰 경우 상호 간섭 영향[3]



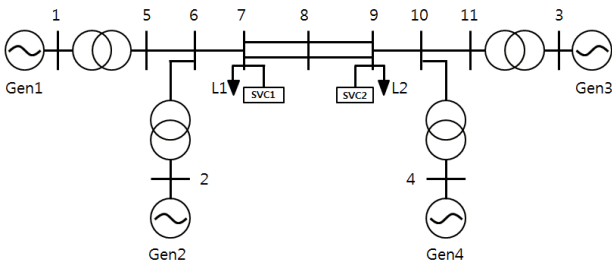
<그림 3> SVC 간의 임피던스가 작고, 단락 용량이 큰 경우, SVC 간의 상호 간섭 영향[3]



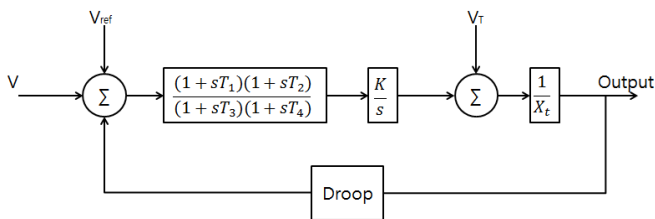
〈그림 4〉 SVC 간의 임피던스가 작고, 단락 용량이 작은 경우, SVC 간의 상호 간섭 영향[3]

2.2 Kundur 모델에서의 상호 간섭 가능성

SVC 기기 사이의 상호 간섭의 가능성을 알아보기 위하여 Kundur의 2-area, 4-machine 시스템을 적용해 보았다. 그림 5에서 보듯이, Kundur의 모델은 4개의 발전기와 두 개의 부하, 그리고 4개의 변압기와 11개의 버스로 구성되어 있다[6]. Kundur 모델의 7번 버스와 9번 버스에 SVC를 설치한다면, 두 SVC는 전기적으로 가까운 거리에서 동작한다고 볼 수 있고, 전체 시스템의 단락 용량은 크지 않다고 가정할 수 있다. PSS/e에서 사용하는 SVC의 제어기의 알고리즘은 그림 6와 같다. 이 제어기의 출력은 무효 전력(지상 또는 진상 전류)이며 SVC에서 발전하는 무효 전력을 통하여 전압 안정도를 개선한다.

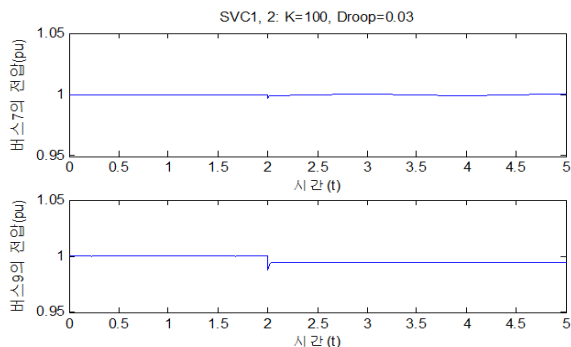


〈그림 5〉 Kundur의 2 Area, 4 Machine 모델[6]



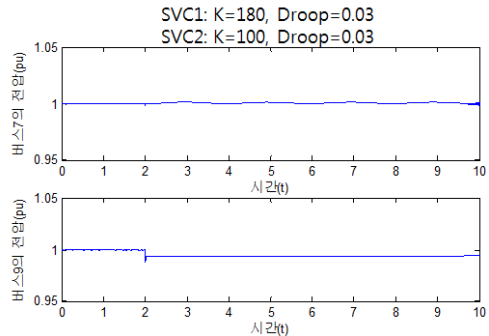
〈그림 6〉 PSS/e에 사용된 SVC 제어기[4]

이러한 Kundur 모델을 가지고 PSS/e에서 제어기의 이득을 변화시켜 그 영향을 살펴보았다. 시뮬레이션 시작 후 2초 후에 버스 9에 연결된 부하에서 50 MVar의 무효 전력을 흡수하여 작은 외란을 발생시켰다. 그림 7는 버스 7, 9의 SVC 이득이 100 일 때, 시뮬레이션 결과로 외란 발생 후에도 안정한 모습을 보인다.

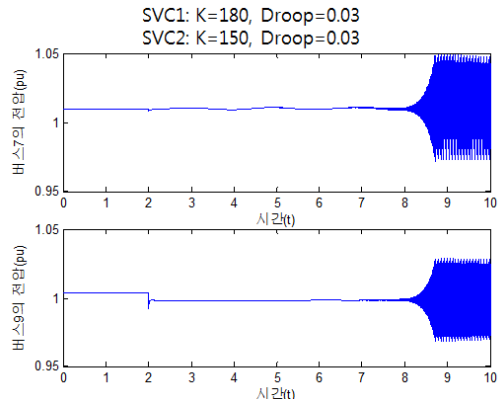


〈그림 7〉 SVC 이득이 작은 경우, Kundur 모델 시뮬레이션

그림 8은 버스 7번에 설치된 SVC의 이득을 180으로 증가시켰을 때의 PSS/e 동적 시뮬레이션을 통한 버스 전압이다. 그림 8에서 보듯이 2초에서 외란 발생 후 그래프에 작은 진동이 발생하지만, 안정하다. 그림 9는 버스 9번에 설치된 SVC의 이득을 150으로 증가시켰을 때 PSS/e 동적 시뮬레이션이다. 외란 발생 후 안정한 듯 보이나, 나중에는 불안정한 진동이 발생하며 이 진동은 상호 간섭의 영향이다. 그림 9의 불안정한 진동의 주파수는 12Hz로 [4]에서는 제어 간섭으로 분류한다. 따라서 SVC의 이득이 증가했을 때, 전기적으로 가까이 위치한 다른 SVC에 영향을 주는 상호 간섭이 극단적인 상황에서 시스템에 불안정한 진동을 발생시키는 것을 확인하였다.



〈그림 8〉 SVC1의 이득 변화 후, Kundur 모델 시뮬레이션



〈그림 9〉 SVC2의 이득 변화 후, Kundur 모델 시뮬레이션

3. 결 론

수도관에 부하가 집중되고, 장거리 송전 용량이 늘어나면서 SVC를 수도관에 설치하여 전압 안정도를 확보해야 한다. 하지만 가까운 거리에 설치된 SVC 기기 간의 상호 간섭의 실제 원인과 분석 방법에 대한 연구가 많지 않다. 본 논문에서는 Kundur 모델과 같은 간단한 케이스를 통하여 가까이 설치된 SVC 기기 사이의 상호 간섭 가능성을 확인하였다. 따라서 SVC가 계통에 설치될 때에는 상호 간섭에 대한 고려가 필요하며, 만약 상호 간섭을 피할 수 없다면 SVC의 제어기 간의 협조 제어가 반드시 필요하다. 그리고 앞으로 SVC 기기 사이에 발생 가능한 상호 간섭에 대한 실제 원인에 대한 연구와 이에 따른 분석 방법 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. G. Hingorani, "Power electronics in electric utilities: role of power electronics in future power systems," Proceedings of IEEE, vol. 76, no. 4, pp. 481-482, April 1988.
- [2] L. Gerin-Lajoie, G. Scott, S. Breault, E. V. Larsen, D. H. Baker, and A. F. Imece, "Hydro-Quebec multiple SVC application control stability study," IEEE Trans. Power Del., vol. 5, no. 3, pp. 1543-1551, July 1990.
- [3] The Electrical Power Research Institute (EPRI) Report RT-109969, "Analysis of control interactions on FACTS assisted power system," Final Report, Palo Alto, CA, January 1998.
- [4] R. M. Mathur, R. Varma, Thyristor-based FACTS controllers for electrical transmission systems, IEEE Press, 2002.
- [5] K. Clark, B. Fardanesh, and R. Adapa, "Thyristor controlled series compensation application study - control interaction considerations," IEEE Trans. Power Del., vol. 10, no. 2, pp. 1031-1037, April 1995.
- [6] P. Kundur, Power System Stability and Control [M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1994.