

SVC를 이용한 Highly varying 부하에 의한 영향 보상 방안

정문구* 장길수 이병준
고려대학교 전기전자전파공학부

손광명
동의대학교 전기공학과

Compensation of the Impact of Highly Varying Loads on Power Systems Using SVCs

Moon-Goo Jeong* Gilsoo Jang Byongjun Lee Kwangmyoung Son
Korea university Dongeui university

Abstract - This paper deals with the compensation of the impact of highly varying loads on the power system using a static var compensator (SVC). A procedure to determine a suitable capacity of the compensator is proposed, and it is implemented using PSCAD/EMTDC. The proposed method is applied to a test system to illustrate its capabilities.

150 MVA급 전기로이다. 시험계통은 그림 1에 보여지고 있다. 앞에서 언급된 바와 같이 이 부하는 전압 플리커 문제를 야기하는 등 전력품질을 저하시키는 역할을 함으로 해서 배전용 FACTS 기기 중 하나인 SVC를 달아 이를 보상할 수 있도록 하였다. 그림 2에 보이는 것이 본 시험 계통의 PSCAD/EMTDC DRAFT이다. 등가전원의 공급전압은 34.5 kV이다. 등가 임피던스로서 저항이 0.18 Ω, 인덕턴스가 0.01 H이다.

1. 서 론

부하 전류와 전압이 비선형적 특성을 나타내는 전기로와 같은 highly varying 부하들의 사용이 늘어나고 전력 품질에 대한 기대 수준이 높아감에 따라 이러한 부하에 의한 계통에서의 영향을 보상하여 요구되는 전력 품질을 확보하기 위한 연구가 필수적이다. 전력전자기와 같은 비선형 부하들을 비롯하여 전기로와 같은 highly varying 부하 등 많은 부하들의 동특성은 공급 모션전압의 품질에 민감한 동시에 전력품질을 저하시키는 역할을 하고 있다. 특히, 대규모의 전력을 사용하며 전력 수요가 일정하지 않고 변동하는 제철소의 전기로 같은 부하는 전압 플리커 등의 문제를 일으킨다. 전압 플리커는 전기로, 압연설비 등의 운전시나 대형 전동기 기동시에 발생하고 이로 인한 순간적인 전압 변동은 다른 전동기의 속도나 출력의 변동을 발생시켜 설비의 오동작을 유발하고 저전압 계전기를 동작시켜 설비 운영 중단 및 정전을 유발한다. 따라서, highly varying 부하가 일으키는 전력 계통에 대한 영향을 보상할 수 있는 대책이 요구된다.

SVC는 공급 모션전압의 변동을 감지하여 이에 대응하는 병렬 서셉턴스를 변화시킴으로써 해서 모션전압을 빠르고 연속적으로 제어하는 기기로서, 모션전압의 제어가 기본적인 목적이며 부가적으로 과도안정도 향상, 전력동요 억제 등의 다양한 제어가 가능하다. 전력품질 보상을 위한 이러한 전력전자설비들이 단위 용량 별로 모듈화되는 경향에 비추어 사용자의 입장에서는 전력회사의 전력품질 요구 조건을 만족시킬 수 있는 보상기기의 필요 용량 산정은 필수적이다.

본 논문에서는 highly varying 부하가 전력 계통에 미치는 영향 중 전압 플리커 문제를 보상할 수 있는 SVC의 TCR과 TSC의 적정용량을 산정하는 방안을 제시한다. 적정용량의 산정 기준으로 본 논문에서 역시 제안하는 전력품질 지수로 Average rms deviation (APD)과 Average peak deviation (APD)를 선택하였다. 부하 모델과 SVC 모델은 PSCAD/EMTDC로 구현되었다.

2. 본 론

2.1 시험 계통

Highly varying 부하인 전기로에 전원을 공급하는 전형적인 시험 계통이 그림 1에 보여지고 있다. 이 계통과 데이터의 출처는 Roanoke Electric Steel Company이다[1]. 부하는 34.5 kV 모선에 접속된

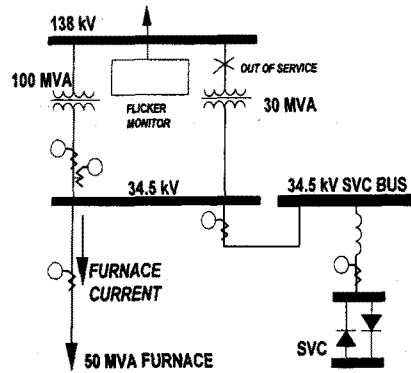


그림 1. 시험계통

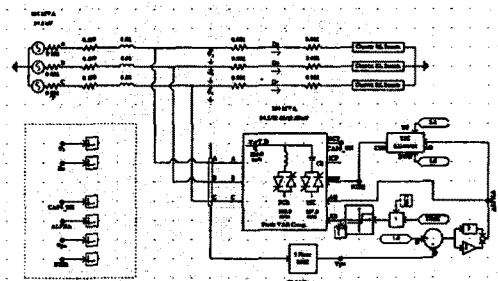


그림 2. PSCAD/EMTDC DRAFT

2.2 Highly varying 부하

Highly varying 부하는 Ohm's law를 따르지 않는 불규칙적인 전류를 가지고 광대역의 시간에 따라 변하는 스펙트럼을 가지는 부하를 말한다.

2.2.1 전제

본 부하 모델은 다음과 같은 전제를 따른다.
· 본 부하모델은 전기로와 같이 혼잡 특성을 나타내는 부하에 적용되어질 수 있다.

- 부하전류의 일정하지 않은 변동으로 시간영역과 주파수 영역에서의 동일성보다는 동특성의 반영 정도가 높도록 구현되었다.
- 부하를 가변 임피던스 모델로 보고, 임피던스는 저항과 인덕턴스로 구성되었다.

2.2.2 부하 특성

본 부하 모델이 나타낼 수 있는 혼잡 특성 중 저주파 영역에서의 변동 사항을 반영하는 Lorenz 모델만으로 설정되었다 [2]. 부하의 X/R ratio는 0.1, 기본 어드미턴스는 0.05 mhos이다. SVC가 OFF된 상태에서 모의된 공급 모션전압과 부하전류는 다음과 같다.

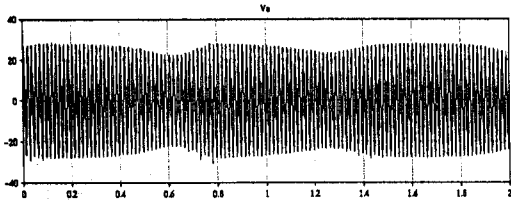


그림 3. SVC OFF시 공급 모션전압

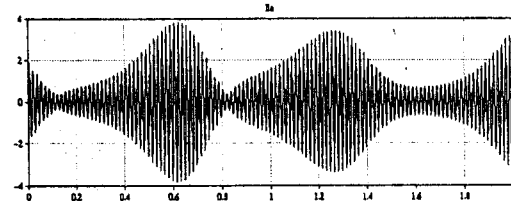


그림 4. SVC OFF시 부하전류

상기 그림 3에서 보여지는 바와 같이 전압 파형의 진폭이 출력거림을 볼 수 있다.

2.3 SVC 모델

SVC 모델은 PSCAD/EMTDC master library에 있는 표준 모델을 사용하였다 [3]. SVC 변압기 정격은 200 MVA, 34.5/12.6/12.65 kV으로 하였다. KB 신호에 ON/OFF 스위치를 달아 SVC를 동작과 비동작을 선택할 수 있도록 하였다. 이 모델의 제어 방안으로 모션전압을 1.0 pu으로 유지하게끔 설계되어져 있는데, 이 1.0 pu에 해당하는 값은 29.5 kV로 잡았다. 이 값은 보상 전 공급 모션전압 파형의 60 Hz 값으로 가깝게 잡는다. 또한 3 phase RMS 측정 컴포넌트의 smoothing time constant는 0.025 초로 하였다.

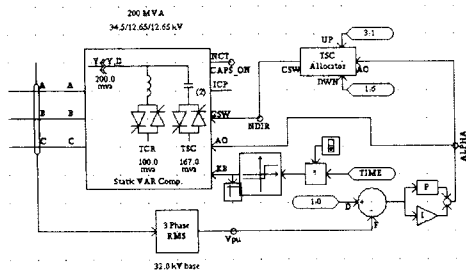


그림 5. SVC 모델

PSCAD/EMTDC master library의 기본값에 해당하는 TCR 용량 100.0 MVar, TSC 용량 167.0 MVar을 가지는 SVC를 동작시킬 때의 공급 모션전압과 부하전류는 다음과 같다. 그림 6에서 보여지는 바와 같이 전압 파형의 진폭의 출력거림이 눈에 띄게 없어졌음을 볼 수 있다. 또한 TSC 스위칭에 따른 transients가 보여지고 있다.

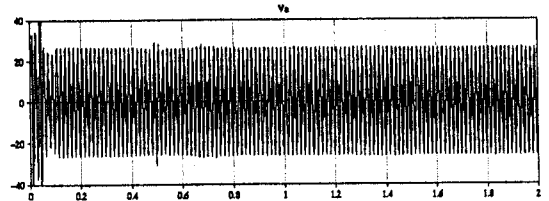


그림 6. SVC ON시 공급 모션전압

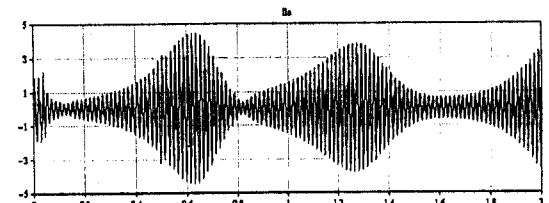


그림 7. SVC ON시 부하전류

2.3.1 용량 산정

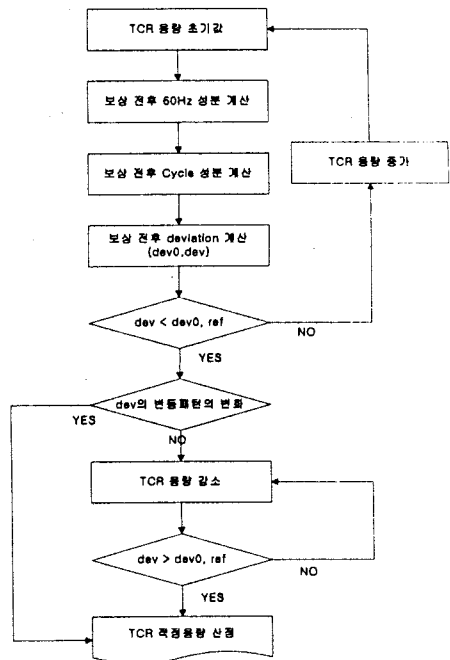


그림 8. SVC 용량 산정 순서도

SVC의 보상 목적과 부하에 따른 용량의 계산 방법은 대학에서의 전기회로 과목에서도 나와 있다. 보상에 필요한 무효전력의 크기를 산정하면 되는 것이다. Highly varying 부하의 경우는 큰 변동을 가지기 때문에 그 용

량 선정에 어려움이 있다. 특히, 전력품질 문제를 고려한다면 더 어려울 것이다. 본 논문에서는 전력품질을 고려한 SVC 용량 산정 방법을 제안한다. 그 방법은 그림 8에 보여지는 바와 같은 순서도를 따를 수 있다. 요약하면, 처음에 SVC 용량의 초기값을 선정하는 다음 순차적으로 용량을 증가시키든지 감소시키든지 하여 적정 용량을 선정하는 것이다. 다시 말해, SVC OFF 상태에서 전압 파형을 측정하여 60 Hz 성분을 추출하여 기준 rms를 계산한다. 초기값으로 설정된 SVC를 ON하여 모의한 후 보상 파형의 60 Hz rms값과 2.4절에서 소개할 ARD를 계산한다. 이 값을 순서도에 따라 판단하여 SVC 용량을 증가 또는 감소를 계속하여 적정용량을 선정한다.

2.4 평가 지수

대부분의 전력품질 지수들은 파형의 푸리에 스펙트럼에 의존한다. 즉, 이런 지수들은 이산 주파수 스펙트럼을 갖는 주기적인 파형을 평가하는 데 맞추어져 있다. 그러나, Highly varying 부하는 사실상 시간에 따라 변하는 non-stationary 스펙트럼을 갖는다. 또한 flicker를 나타내는 보상 전 파형의 경우는 이산 주파수 스펙트럼으로 나타낼 수 있지만, 보상 후 파형은 flicker라고 볼 수 없다. 그러므로, 이런 파형에 동일한 기준으로 일반적 표준 척도인 THD나 flicker modulation factor 등을 적용하기는 어렵다. 이러한 이유로 본 논문에서는 보상기기를 통한 보상효과를 평가하기 위한 지수로서 Average rms deviation(ARD)과 Average peak deviation(APD)를 제안한다.

$$\text{Average RMS deviation} = \frac{\sum_{n=1}^N |rms(n) - rms_{60Hz}|}{N \times rms_{60Hz}}$$

$$\text{Average peak deviation} = \frac{\sum_{n=1}^N |peak(n) - peak_{60Hz}|}{N \times peak_{60Hz}}$$

여기서, rms(i)과 peak(i)는 각각 i번째 사이클의 rms값과 peak값이고, 분모는 rms_{60Hz}와 peak_{60Hz}는 각각 샘플링된 파형의 60Hz 성분의 rms값과 peak값이다. 그리고, N은 샘플링된 파형에 들어있는 사이클의 갯수이다.

ARD는 매 사이클 마다의 rms값을 계산하여 60 Hz 성분에 대한 deviation을 pu으로 환산한 값이다. 마찬가지로 APD는 매 사이클 마다의 peak값을 계산하여 60 Hz 성분에 대한 deviation을 pu으로 환산한 값이다. 이 지수는 사이클마다의 전압 크기가 기준 전압에 대비하여 평균적으로 어느 정도 진동하는가를 나타낼 수 있다. 이상적인 정현파의 경우는 두 값 모두 0이 나올 것이고, 0.2의 modulation factor와 10Hz의 modulation frequency를 갖는 flicker의 경우는 각각 0.1130과 0.1267을 갖는다. 본 논문에서 제시하는 용량 산정과는 ARD과 관련이 있다고 볼 수 있다.

2.4.2 모의 결과

그림 8에서 보여진 제한된 SVC 용량 산정 순서도에 따라 SVC OFF 상태의 ARD와 APD를 계산한다. SVC ON 상태에서 TCR 용량과 TSC 용량을 동일하게 잡고 60 MVar를 초기값으로 설정한 후 PSCAD/EMTDC로 모의한 output file을 통해 ARD와 APD를 계산한다. 같은 방식으로 10 MVar 단위로 증가시켜 각각의 지수를 계산하였다. 그림 8의 두 번째 판단 블록에서 분기될 수 있는 결과가 표 1에서 보여지듯 150 Mvar에서 분기됨을 알 수 있다. 만약 이전의 계산값들 중 전력회사에서 제시하는 기준이 있다면 이를

지키는 용량을 기준 전력품질을 만족시키는 적정 용량으로 선정할 수 있다. 모의결과로부터 ARD는 용량에 따라 증감이 일정한 패턴이 있지만, APD의 경우는 꼭 그러한 것이 아님을 또한 알 수 있다. APD는 peak값을 취한 것이므로 TSC 스위칭 transients와 관련이 있다.

표 1. 용량에 따른 ARD와 APD

TCR 용량 (Mvar)	TSC 용량 (Mvar)	RMS _{60Hz}	ARD	APD
OFF		17.2176	0.0648	0.0648
60	60	16.7672	0.0264	0.0264
70	70	16.7881	0.0218	0.0225
80	80	16.8081	0.0195	0.0219
90	90	16.8187	0.0181	0.0227
100	100	16.8250	0.0168	0.0176
110	110	16.8277	0.0168	0.0247
120	120	16.8303	0.0166	0.0248
130	130	16.8363	0.0157	0.0161
140	140	16.8369	0.0155	0.0161
150	150	16.8422	0.0152	0.0158
160	160	16.8409	0.0155	0.0187

3. 결 론

본 논문에서는 highly varying 부하의 계통에 대한 영향을 정해진 전력품질 기준을 만족하도록 보상하는데 필요한 SVC의 용량 산정 방안을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해서 제안된 방법의 유용성을 검증하였으며, 제시된 용량은 전력품질 요구 조건 만족을 위한 추가 조건이 되어 절연 설계, 경제성 등의 다른 조건과 함께 보상기기 적정 용량 산정에 포함될 수 있다. 제시된 알고리즘에는 다양한 부하, 보상기기, 기준 등이 사용될 수 있고 현재 전 과정을 하나의 PSCAD/EMTDC 모듈로 구성하고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. Jang, W. Wang, "Electric Arc Furnaces: Chaotic Load Models and Transient Analysis", Lescope Conference, July 1998
- [2] 정문구, 장길수, 이병준, 손광명, "PSCAD/EMTDC를 이용한 Highly varying 부하 모델의 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2001
- [3] PSCAD/EMTDC V2.0 User's manual