

Matlab/Simulink를 이용한 무효전력 보상장치의 플리커 저감 효과 연구

정재안*, 조수환*, 장길수*, 강문호**

고려대학교 전기전자전파공학부*, 한국전력 전력연구원**

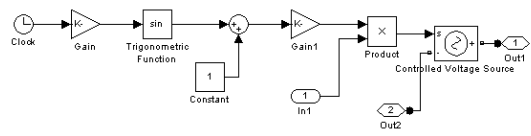
Comparative Simulation of flicker Mitigating Efficiencies of Various Compensating Devices using Matlab/Simulink

Jae-Ahn Jung*, Soo-Hwan Cho*, Gilsoo Jang*, Moon-Ho Kang**

School of Electrical Engineering in Korea University*, Korea Electrical Power Research Institute**

Abstract - Voltage fluctuation, also known as flicker, is a power quality problem caused by nonlinear loads like electric arc furnace. Since it is interpreted as a variation of the supplied electrical energy, it causes the residential customers to feel much annoyed visually through the lamps. Due to the statistical nature of IEC (International Electrotechnical Commission) short-term flicker severity index, P_{st} , it is not feasible to pre-evaluate the flicker level using the transient power system simulators such as SimPowerSystem in Matlab/Simulink. So this paper presents not only how to design the Matlab/Simulink IEC flickermeter to yield the P_{st} value, which considering electric distribution environments of South Korea, but also how to mitigate the voltage flicker at the Point of Common Coupling (PCC). In order to achieve this, the flicker mitigation efficiencies of various compensating devices, such as Static Var Compensator (SVC), STATCOM will be applied and compared. The simulated result demonstrates which compensating equipment is the most efficient method to mitigate the flicker phenomenon.

본 논문에서 EAF를 포함한 계통 모델은 Matlab/Simulink의 SimPower System Blockset로 설계되었다. 계통도에서 공급전압은 154[kV], 변압기는 154/22.9[kV]를 사용하였고 계통에는 그림 2와 같이 평균 소비 유효 전력이 39.7 MW인 EAF를 설계하여 연결하였다 [2].



<그림 2> 비선형 부하 EAF의 subsystem

이때, 플리커 보상을 하기 위해서는 정확한 삼상 아크로 모델링이 필요한 것이 사실이다. 그러나 아크의 용해 과정은 움직이는 확률론적인 과정이므로 정확하게 결정된 아크로 부하 모델을 만들기란 상당히 어렵다. 본 논문에서 적용한 EAF의 경우 저항 값의 변화에 따라 전압변동을 만들어내는 원리를 적용하였기 때문에 다소 완벽한 EAF 모의를 제공할 수는 없지만, 전압변동을 가져오는 측면에서 플리커의 실질적인 예측은 가능하다고 할 수 있다.

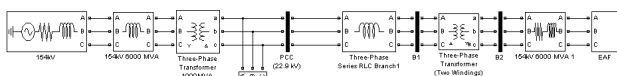
1. 서 론

일반적으로 플리커는 '특정 부하의 변동에 따른 전압 변동이 인근의 부하 전압에 영향을 미쳐 발생하는 전등 부하의 깜빡임'으로 정의된다. 이러한 플리커는 EAF와 같은 대용량의 non-linear 부하에 의해 발생하게 되는데, 이는 단시간 내에 순간적으로 많은 양의 전류를 사용하여 급격한 전류 변화가 일어나 상대적으로 큰 전압의 변동을 일으키게 되므로 플리커의 근본적인 발생원이라 할 수 있다 [1]. 이렇게 발생된 플리커는 장시간 지속될 경우 장비의 성능을 저하시키고 일반 사용자에게 전력품질 문제로 인식되므로 이를 저감시키기 위해 전력회사와 수용가측에서 최적의 방안을 찾기 위한 노력이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 방안을 제시하기 위해 무효전력 보상장치를 적용하게 되었다. 특히, 주로 EAF 부하의 역률 교정을 목적으로 사용되지만 플리커를 줄이는 능력을 갖고 있기도 한 SVC, STATCOM을 사용하여 플리커 저감 효과를 모의한다. 이때, 각각의 보상장치는 적절한 무효전력 주입에 의해 전압변동을 줄임으로써 플리커 심각도를 줄이는 역할을 하게 된다. 본문에서는 Matlab/Simulink로 설계된 EAF를 포함한 계통도에 SVC와 STATCOM을 설치하여 투입 전후의 플리커 심각도 지수를 실측한 후, 플리커 개선효과를 분석한다. 분석에는 Matlab으로 설계된 플리커미터 모듈을 사용하는데, 이는 IEC 61000-4-15에서 제안하고 있는 플리커미터의 기본 블록 다이어그램을 바탕으로 설계되었으며 PCC 지점에 연결된 모듈에서 추출된 IFL (Instantaneous Flicker Level)값으로 최종 출력값인 P_{st} (Short Term Flicker Severity)를 값을 계산하여 플리커를 평가하게 된다.

2. 본 론

2.1 사례연구 계통 구성

그림 1은 사례 연구를 하기위한 시스템 계통도를 나타내고 있다.



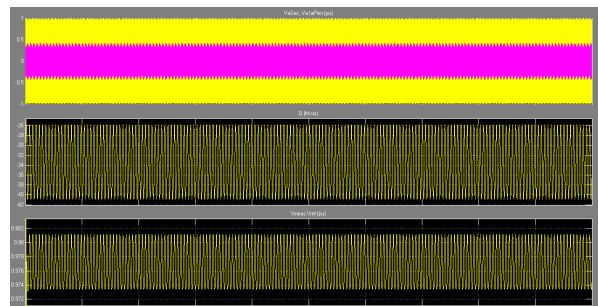
<그림 1> 사례 연구 시스템의 계통도

2.2 계통 모의

본 논문의 목적인 각 보상장치의 플리커 저감 기여도에 대해 알아보기 위해 최초의 계통도에서 보상장치를 설치하기 이전과 SVC 및 STATCOM 각각의 보상장치가 설치된 이후의 계통 모의를 순차적으로 진행하고 각각의 경우에 단기 플리커 심각도 지수 (P_{st})를 계산하여 비교하도록 하겠다.

2.2.1 무효전력 보상장치의 설치 전

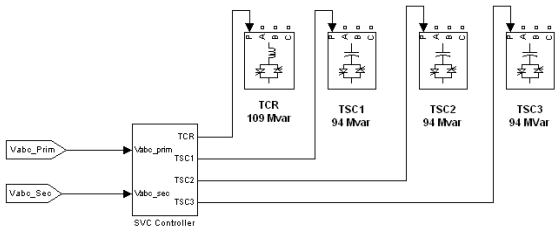
보상장치를 설치하여 플리커 저감을 모의하기에 앞서 무효전력 보상장치를 설치하기 이전의 계통을 모의하였다. 그림 3은 보상장치가 설치되지 않은 계통도의 PCC 지점에서 측정된 0~20초 동안의 전압/전류 순시치(상, Q(중), 그리고 전압 파형(하)을 나타내고 있다.



<그림 3> 보상장치 설치 전의 계통 Simulation 파형

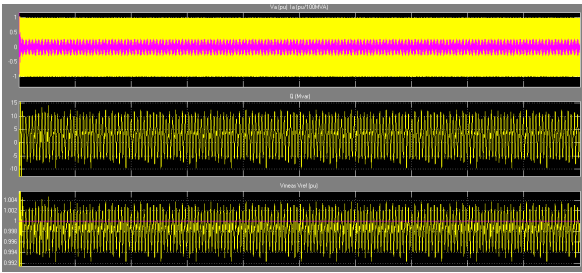
2.2.2 SVC 설치

SVC (Static Var Compensator)는 점호각을 제어하여 리액터에 흐르는 무효전류를 연속적으로 조절하는 TSC와 계통과 동기시켜 모션전압이 최대가 되는 순간 스위치를 on/off하여 진상 무효전류를 단계적으로 공급하는 TCR로 구성되며, 이러한 TCR, TSC의 출력으로 무효전력량을 조절함으로써 무효전력을 보상하게 된다 [3]. 그림 4는 기존의 계통도에 연결될 Matlab/Simulink로 설계된 SVC를 나타내고 있다.



〈그림 4〉 SVC 블록다이어그램

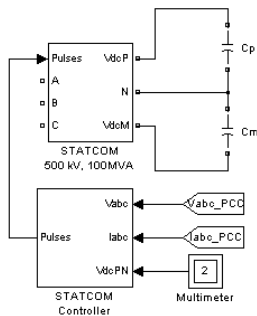
이때, TCR의 용량은 109[Mvar], TSC의 용량은 각각 94[Mvar]가 되도록 설계하였다. 그림 5는 보상장치 SVC가 설치된 계통도의 PCC 지점에서 측정된 0~20초 동안의 전압/전류 순시치(상), Q(중), 그리고 전압 파형(하)을 나타내고 있다.



〈그림 5〉 보상장치 SVC 설치 후의 계통 Simulation 파형

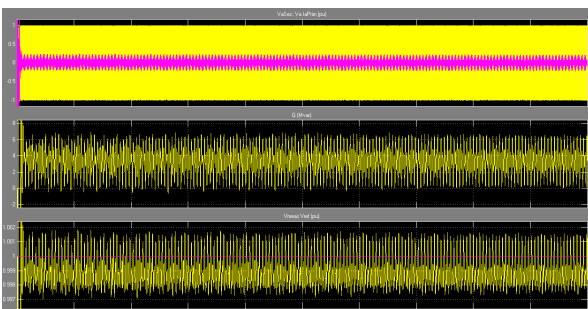
2.2.3 STATCOM 설치

STATCOM (Static synchronous Compensator)은 DC-AC 전력변환기 (DC-AC converter)와 결합변압기 (Coupling Transformer)로 구성되며, 인버터와 교류계통 사이에 교환되는 무효전력의 양을 인버터 출력단의 전압크기를 변화시켜 조절하고 유효전력의 양은 인버터 출력 전압과 교류단자 전압사이의 위상각을 변경시켜 제어하는 원리로 동작되는 특성을 갖고 있다 [3]. 그림 6은 기존의 계통도에 연결될 Matlab/Simulink로 설계된 STATCOM을 나타내고 있다.



〈그림 6〉 STATCOM 블록다이어그램

이때, STATCOM의 동작특성상 동적성능이 전달지연을 무시할 수 있기 때문에 앞서 모의하였던 SVC에 비해 응답속도가 10배 이상 빨라 직류송전에 있어 컨버터 점호각의 변화에 따른 소요 무효전력을 신속하게 보상할 수가 있다.

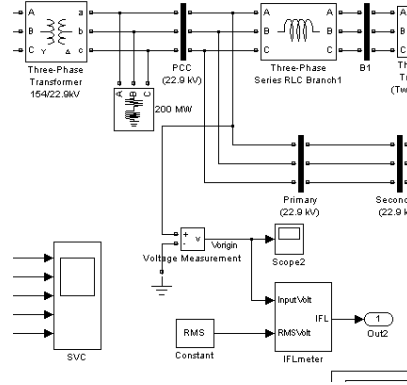


〈그림 7〉 보상장치 STATCOM 설치 후의 계통 Simulation 파형

따라서, STATCOM의 모의결과가 SVC에 비해 플리커 저감에 있어 더 나은 결과를 가져올 것이라고 예측할 수 있다. 그림 7은 보상장치 STATCOM이 설치된 계통도의 PCC 지점에서 측정된 0~20초 동안의 전압/전류 순시치(상), Q(중), 그리고 전압 파형(하)을 나타내고 있다.

2.3 IEC 단기 플리커 심각도 지수 (Pst) 측정

IEC 아날로그 플리커미터는 5개의 블록으로 구성되는데, 블록 2~4는 Lamp-eye-brain의 연쇄 응답을 모의하며, 블록 5는 IFL값을 플리커의 정도를 평가할 수 있는 수치적인 지수(Pst, PIt)로 변환하는 통계처리 과정이다 [4], [5]. 그림 8은 플리커 저감 모의에 대한 실제적인 분석데이터 값인 Pst를 계산하기 위해 PCC 지점에서 측정된 IFL (Instantaneous Flicker Level) 값을 추출하는 IFLmeter를 나타내고 있다.



〈그림 8〉 Pst 계산을 위한 IFLmeter

이렇게 얻어진 IFL 값을 토대로, 미리 만들어진 플리커미터 알고리즘을 이용해 각각의 case에 대한 Pst 값을 계산하여 보상기에 대한 분석이 가능하도록 하였다. Pst를 계산하기 위한 기본 식은 다음과 같다.

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.08P_{50s}} \quad [5]$$

3. 결 론

아크로 부하는 단시간 내에 순간적으로 많은 양의 전류를 사용하여 급격한 전류 변화가 일어나 상대적으로 큰 전압의 변동을 일으키게 되므로 플리커의 근본적인 발생원이라 할 수 있다. SVC와 STATCOM과 같은 무효전력보상장치는 이러한 아크로 부하에 무효전력을 보상함으로써 플리커를 저감시키는 역할을 한다. 아래의 표 1은 모의에 따른 Pst 결과 값을 각각의 case 별로 정리한 측정결과 값 비교표이다.

〈표 1〉 각 CASE 별 Pst 측정 결과 값 비교

case	without Compensator	SVC	STATCOM
Pst	1.9768	1.6094	0.6033

산출된 결과 값에서 알 수 있듯 보상기를 달았을 때 플리커 심각도 지수가 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 특히 STATCOM 보상기의 경우 그 값이 현저하게 낮아짐을 확인할 수 있다. 따라서 논문에서 시행된 모의를 통해 무효전력 보상기들이 플리커를 저감시키는 데 효과적이며 이를 위한 적절한 방안이 될 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] R. C. Dugan, and et al., "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill Co., 2003.
 [2] Y.F. Wang, J.G. Jiang, L.S. Ge and X.J. Yang, "Mitigation of Electric Arc Furnace Voltage Flicker Using Static Synchronous Compensator, IPERC 2006
 [3] Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS", Static Shunt Compensators: SVC and STATCOM, IEEE Press
 [4] S.H. Cho, Y.S. Jang, G. Jang, S.H. Kwon, Y.S. Jeon, K. N. Kwak and J.B. Choo, "Voltage flickermeter for korean Electrical Distribution System", International Conference on Electrical Engineering(ICEE) 2005, Kunming, China, July, 2005.
 [5] IEC 61000-4-15, "Electromagnetic Compatibility(EMC)-Part 4: Testing and measurement techniques-Section 15: Flickermeter-Functional and design specifications, Ed. 1.1, 2003.