

# 무효전력 보상 용량 증대 및 DC 링크 전압 저감을 위한 SVC 결합형 UPQC

## SVC coupled UPQC for reactive power compensation capacity increase and DC link voltage reduction

표수한\*, 박장현, 오정식, 박태식\*

Soo-Han Pyo\*, Jang-Hyun Park, Jeong-Sik Oh, Tae-Sik Park\*

### Abstract

This paper propose a new form of UPQC (Unified Power Quality Compensator) to compensate the current and voltage quality problems of nonlinear loads. The conventional UPQC system consists of a series inverter, a parallel inverter, and a common DC link. A new type of UPQC proposed is a parallel compensator with SVC (Static Var Compensator) added to compensate for the wide compensation range and low DC link voltage. The parallel inverter compensates the reactive power generated by the nonlinear load, and the series inverter compensates the sag and swell generated at the power supply side.

### 요약

본 논문에서는 UPQC 시스템과 SVC를 결합한 새로운 형태의 보상장치를 제안하고자 한다. 기존의 UPQC는 직렬형 인버터, 병렬형 인버터, DC 링크로 구성되어 있어있으며 우수한 전력품질 보상 성능을 보이지만 높은 인버터 정격을 요구한다. 제안된 방식은 직렬형 인버터, 병렬형 인버터와 DC 링크 그리고 병렬형 인버터의 출력단에 결합된 SVC로 구성되어 있으며, 기존 UPQC에 비해 넓은 무효전력 보상 범위와 낮은 DC 링크 전압의 장점을 가지고 있다. 또한, SVC가 결합된 새로운 UPQC의 구성은 Matlab 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

*Key words* : UPQC(Unified Power Quality Compensator), STATCOM(Static Synchronous Compensator), DVR(Dynamic Voltage Restorer), SVC(Static Var Compensator), Low level DC-Link

### 1. 서론

전력전자 기술이 발전되고 다양한 디지털 부하가 증가됨에 따라 전력품질에 대한 중요성은 과거에 비해 관심이 높아지고 있다. 전력품질은 Sag(순간

전압강하), Swell(순간전압상승), 고조파, Voltage Unbalance(전압불평형), Flicker(플리커)등의 짧은 주기 동안 발생하는 현상들로 평가된다. 기존에는 동기조상기나 전력용 캐패시터와 같은 보상장치를 사용하여 전력품질을 보상해왔고 전력품질에 대한

\* Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University

★ Corresponding author

E-mail : [tspark@mokpo.ac.kr](mailto:tspark@mokpo.ac.kr), Tel : +82-61-450-2465

※ Acknowledgment

This research was supported by Korea Electric Power Corporation (Grant number: R18XA06-60).

Manuscript received Mar. 7, 2019; revised Mar. 16, 2019; accepted Mar. 25, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중요성이 증가함에 따라 SVC, DVR, STATCOM, UPQC 같은 FACTS 설비를 이용해 보상 문제를 해결해왔다. UPQC 시스템은 DVR과 STATCOM이 결합되어 DC 링크를 공유하는 형태로 우수한 전력품질 보상 성능을 보여주지만, 무효전력 보상 범위를 넓히기 위해서는 높은 정격의 인버터가 필요하고, DC 링크 전압이 높아 다양한 재생에너지 발전원의 연계가 어려운 단점을 가지고 있다[1], [2]. 본 논문에서는 UPQC와 SVC를 결합한 새로운 형태의 UPQC를 제안하고자 한다. 새로운 형태의 UPQC는 STATCOM 출력단에 SVC를 결합하여 기존의 UPQC에 비해 넓은 무효전력 보상 범위를 가지게 되며, 낮은 정격의 인버터를 요구하여 DC 링크 전압을 낮게 유지할 수 있어 다양한 재생에너지 발전원과 연계가 가능한 장점을 가지고 있다.

II. 기존의 무효전력 보상 기법

1. 계통의 유무효전력

그림 1에 나타낸 AC 회로의 전력  $p$ , 전압  $v$ , 전류  $i$ 는 식 1, 2, 3과 순시값을 사용하여 표현할 수 있으며, 무효전력은 전압과 전류의  $\phi$ 각의 차이에 의해 발생하게 된다.

$$p = vi \tag{1}$$

$$v = V_{max} \cos(\omega t) \tag{2}$$

$$i = I_{max} \cos(\omega t - \phi) \tag{3}$$

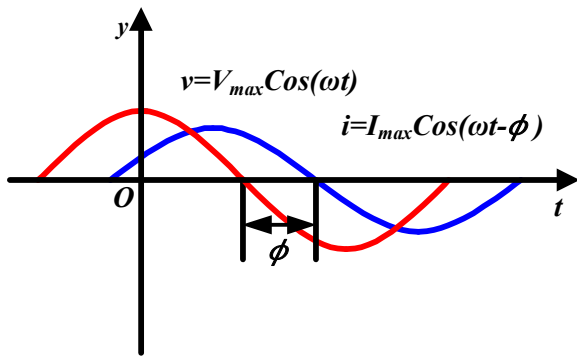


Fig. 1. AC wave with reactive power.  
그림 1. 무효전력을 함유한 AC 파형

유효전력과 무효전력을 산출하기 위해서는 식 4와 같이 유효전력과 무효전력 값을 나누어 표현할 수 있다.

$$S = VI$$

$$= P + jQ = VI \cos \phi + jVI \sin \phi \tag{4}$$

- $P =$  유효전력 [W]
- $Q =$  무효전력 [Var]
- $V_s =$  송전단 전압 [V]
- $V_r =$  수신단 전압 [V]
- $I =$  계통에 흐르는 전류 [A]
- $I_X =$  계통에서 발생한 유도성 부하 전류 [A]
- $I_C = -I_X$  반대 극성 용량성 보상 전류 [A]
- $IZ =$  저항 R과 리액턴스  $jX$ 에 의한 전압강하 [V]
- $V_r' =$  전압강하를 보상한 수신단 전압 [V]

그림 2는 보상장치가 없는 전력계통을 페이지 다이어그램을 통해 등가 한 계통과 벡터도이다. 단거리 송전 선로를 등가 하여 R과 L로 표현되고 저항 R과 리액턴스  $jX$ 에 의해  $IZ$ 의 전압강하가 발생하게 되며, 식 5, 6과 같이 표현할 수 있다.

$$V_s = V_r + IZ = V_r + I(\cos \theta_r - j \sin \theta_r)(R + jX) \tag{5}$$

$$V_s = V_r + I(R \cos \theta_r + X \sin \theta_r) \tag{6}$$

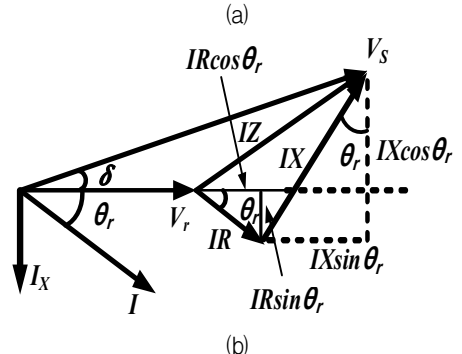
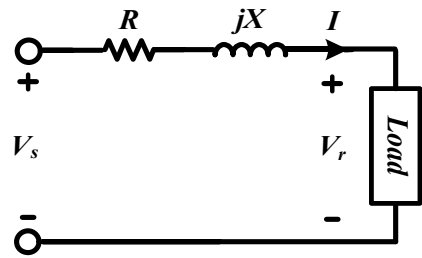


Fig. 2. Load, source reactive power phasor diagram.  
그림 2. 전원, 부하 무효전력 페이지 다이어그램 해석

2. 보상기가 적용된 전력계통의 무효전력 보상

그림 3은 무효전력 보상기가 적용된 전력계통을 페이지 다이어그램을 통해 등가 한 계통과 벡터도이다. 무효전력 보상장치는 선로 리액턴스  $jX$ 에 의

해 발생한 전압강하를 보상하기 위해 용량성 부하를 추가하여 계통에서 발생하고 있는 유도성 부하에 대해 반대 극성의 전류  $I_X$ 를 주입하여  $I_C = -I_X$ 과 같은 전류를 보상하게 된다.

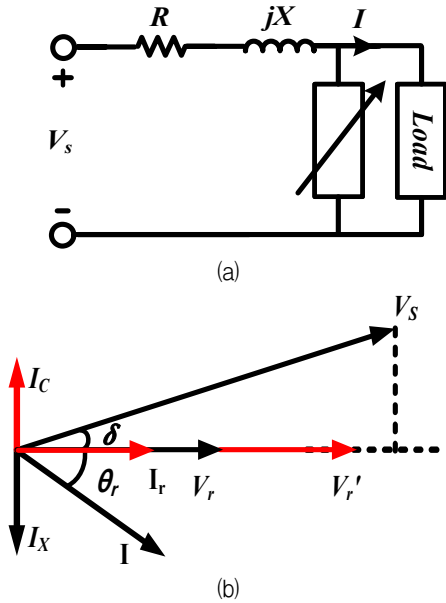


Fig. 3. Pager Diagram Analysis with Compensator.  
그림 3. 보상기가 있을 경우의 페이저 다이어그램 해석

그림 4와 5에서는 기존의 보상장치인 SVC와 UPQC의 V-I 특성곡선을 보여주고 있으며, SVC 시스템의 경우 보상할 수 있는 무효전력 보상범위가 Capacitive limit와 Inductive limit에 의해 제한되어 무효전력 보상범위가 넓지 않음을 확인할 수 있다. UPQC 시스템의 경우 Capacitive limit와 Inductive limit 범위가 SVC에 비해 넓은 보상범위를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그림 6에서는 SVC 결합형 UPQC의 V-I 특성곡선을 보여주고 있으며, 기존 UPQC에 SVC를 결합하여 넓은 무효전력 보상범위와 낮은 인버터 구동전압을 확인할 수 있다.

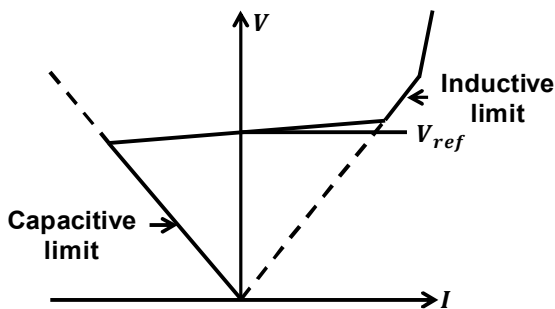


Fig. 4. V-I characteristic of SVC.  
그림 4. SVC V-I 특성곡선

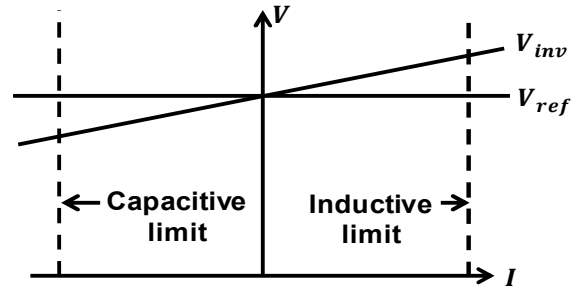


Fig. 5. V-I characteristic of UPQC.  
그림 5. UPQC V-I 특성곡선

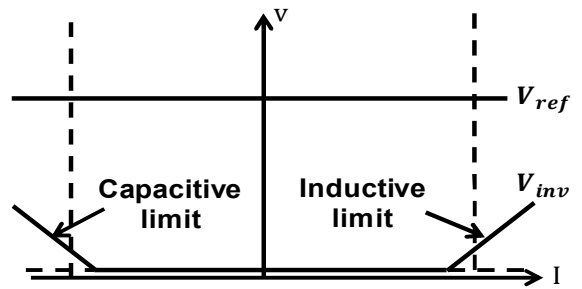


Fig. 6. V-I characteristic of SVC coupled UPQC.  
그림 6. SVC 결합형 UPQC V-I 특성곡선

### III. 제안한 SVC 결합형 UPQC

#### 1. SVC 결합형 UPQC의 구성 및 동작원리

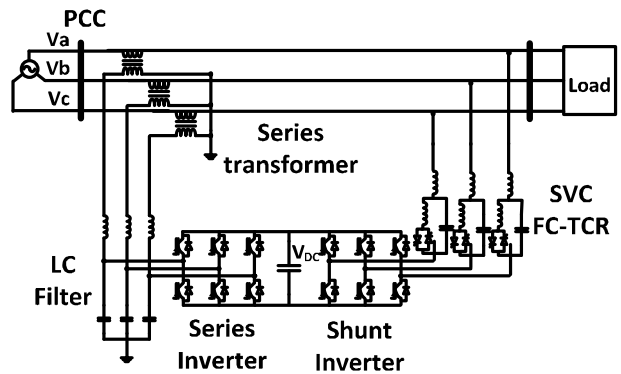


Fig. 7. Configuration of the Hybrid UPQC System.  
그림 7. 하이브리드 UPQC 시스템의 구성

그림 7은 제안한 SVC 결합형 UPQC 시스템 구성을 나타내고 있으며, 제안된 전체 시스템은 직렬형 인버터부, 병렬형 인버터부, 병렬형 인버터부의 출력단에 연결된 SVC부로 구성되어 있다. 직렬형 인버터부는 DVR로 동작하며 계통에서 발생하는 Sag 및 Swell을 보상한다. DVR은 직렬형 변압기를 통해 접속해 있으며, LC 필터를 통해 접속되는 형태이다. 병렬형 인버터부는 STATCOM으로 동

작하며 부하에서 발생하는 무효전력 및 고조파를 보상해준다. 기존의 STATCOM은 L을 통해 계통과 병렬로 접속하는 형태이지만 제안한 UPQC는 SVC를 통해 접속하는 형태이다.

SVC부는 FC-TCR(Fixed Capacitor Thyristor Controlled Reactor)를 사용하였으며, 병렬로 연결된 한 쌍의 사이리스터 밸브와 리액터가 직렬로 연결되어 있고, 캐패시터를 병렬로 연결한 형태이다. 연결된 사이리스터는 양방향 스위치로 동작하며, T1 사이리스터 밸브와 T2 사이리스터 밸브가 양의 주기, 음의 주기에 점호각  $\alpha$ 에 의해 동작하며, 점호각  $\alpha$ 는  $90^\circ$ 에서  $180^\circ$ 로 제어되어  $90^\circ$ 일 때 스위치가 On 즉, 완전 도통되어 최대값의 인덕턴스가 투입되게 된다. 점호각이 늘어남에 따라 그 양이 점차 감소하고 점호각이  $180^\circ$ 에 도달하게 되면 스위치는 Off 상태가 되어 개방되게 된다[3].

전원 측에서 발생하는 Sag, Swell 보상은 직렬형 인버터를 통해 이루어지게 되며, 직렬인버터 보상 전압은 기준전압에서 계통의 현재 전압을 측정하여 차이만큼 보상해 주는 형태이다. 보상전압의 계산식은 식 7과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{series} = V_C = V_{ref} - V_{sag,swell} \quad (7)$$

부하 측에서 발생하는 무효전력은 병렬형 인버터와 SVC에 의해서 무효전력을 보상한다. 계통에서 발생하고 있는 비선형부하에 대해 반대 극성의 무효전력을 주입하여 무효전력 값을 0으로 유지하는 것을 목표로 한다.

$$Q_L = -Q_C \quad (8)$$

병렬형 인버터와 SVC에서 주입되는 무효전력량은 직렬형 인버터에서 보상하는 무효전력량과 SVC에서 보상하는 무효전력량의 합이다. 따라서 주입되는 무효전력량은 식 9과 같이 표현될 수 있다.

$$Q_L = -Q_C = -(Q_{SVC} + Q_{Sunt}) \quad (9)$$

$$Q_L = V_x I_{Lq} = -(X_{SVC(\alpha)} I_{Cq}^2 + V_{Sunt} I_{Cq}) \quad (10)$$

여기에서  $X_{SVC(\alpha)}$ 는 SVC의 점호각에 따른 임피던스 값이며, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$X_{SVC(\alpha)} = \frac{X_{TCR(\alpha)} X_C}{X_C - X_{TCR(\alpha)}} \quad (11)$$

$X_{TCR(\alpha)}$ 는 TCR이 점호각에 따라 변화하는 임피던스 값이며,  $X_C$ 는 Fixed Capacitor 값이다. SVC에서 보상할 수 있는 유도성 및 용량성 임피던스는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X_{max} = \frac{X_L X_C}{X_C - X_L} (\alpha = 90^\circ) \quad (12)$$

$$X_{min} = -X_C + C_L (\alpha = 180^\circ) \quad (13)$$

## 2. SVC 결합형 UPQC의 제어기 설계

전력품질을 높이기 위해 무효전력, 고조파, Sag Swell을 고려하여 제어기를 설계하였다. 무효전력 및 고조파 보상은 병렬형 인버터를 통해 이루어지며, SVC 또한 병렬 인버터와 함께 무효전력을 보상하는 형태이며, Sag 및 Swell에 대해서는 직렬형 인버터를 통해 보상해주는 형태이다.

### 가. 고조파 제거 제어

부하전류  $i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc}$ 는 무효전류 및 고조파가 포함된 식으로 나타낼 수 있다.

$$i_{La} = I_p \cos \theta + I_q \sin \theta + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k\theta - \varphi_k) \quad (14)$$

$$i_{Lb} = I_p \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) + I_q \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k(\theta - \frac{2}{3}\pi) - \varphi_k) \quad (15)$$

$$i_{Lc} = I_p \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) + I_q \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k(\theta + \frac{2}{3}\pi) - \varphi_k) \quad (16)$$

전원전류  $i_{Sa}, i_{Sb}, i_{Sc}$ 가 식 17, 18, 19와 같이 부하의 기본과 성분만 가지는 것을 목표로 한다.

$$i_{Sa} = I_p \cos \theta \quad (17)$$

$$i_{Sb} = I_p \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) \quad (18)$$

$$i_{Sc} = I_p \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \quad (19)$$

기본과 성분만 가지기 위해서는 병렬형 인버터를 통해 식 20, 21, 22와 같은 전류를 공급해야 한다.

$$i_{Ca} = i_{La} - i_{Sa} = I_q \sin \theta + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k\theta - \varphi_k) \quad (20)$$

$$i_{Cb} = i_{Lb} - i_{Sb}$$

$$= I_q \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k(\theta - \frac{2}{3}\pi) - \varphi_k) \quad (21)$$

$$i_{Cc} = i_{Lc} - i_{Sc}$$

$$= I_q \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \cos(k(\theta + \frac{2}{3}\pi) - \varphi_k) \quad (22)$$

다음과 같은 관계의 식들을 dq축 상에서 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{Sd}^c = \overline{i_{Ld}^c} \quad (23)$$

$$i_{Sq}^c = \overline{i_{Lq}^c} \quad (24)$$

$$i_{Cd}^c = i_{Ld}^c - i_{Sd}^c = I_{Ld} - \overline{I_{Ld}^c} \quad (25)$$

$$i_{Cq}^c = i_{Lq}^c - i_{Sq}^c = I_{Lq} - \overline{I_{Lq}^c} \quad (26)$$

좌표변환에 필요한  $\theta$  값을 산출하기 위해 PLL (Phase Lock Loop)을 사용했다. 정지좌표계를 통해  $\alpha\beta$  변환 후 동기좌표계를 통해 dq 변환한  $i_d, i_q$  값을 HPF (High Pass Filter)를 통해 고조파 성분을 제거하여 도출된  $i_d, i_q$  값은 전류제어기의 reference 값  $i_{d-ref}, i_{q-ref}$ 로 도출하였다.

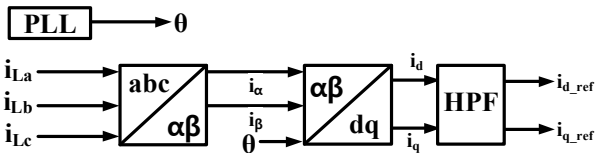


Fig. 8. Harmonics controller of Statcom.  
그림 8. Statcom 고조파 제어기

나. 무효전력 보상 제어

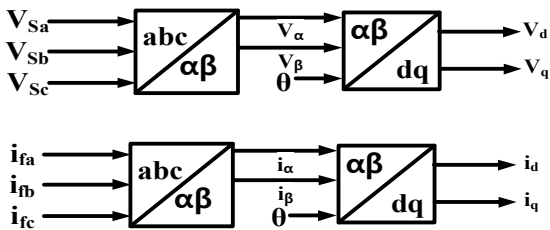


Fig. 9. dq,  $\alpha\beta$  frame of Statcom.  
그림 9. Statcom dq,  $\alpha\beta$  변환

전원전압  $V_{Sa}, V_{Sb}, V_{Sc}$ 을 dq변환한  $V_d, V_q$  값은 전류 제어기에서 전향 제어 성분이 되며, 인버터 측 전류  $i_{fa}, i_{fb}, i_{fc}$ 을 dq변환한  $i_d, i_q$  값은 고조파

제어기를 통해 산출한  $i_{d-ref}, i_{q-ref}$  값과 비교를 통해 PI제어기로 제어되고, 제어에 악영향을 주는 상호간섭 성분 제거를 위해  $i_d, i_q$  값에  $-\omega L, \omega L$ 을 사용하여 상호간섭 성분을 제거했다.

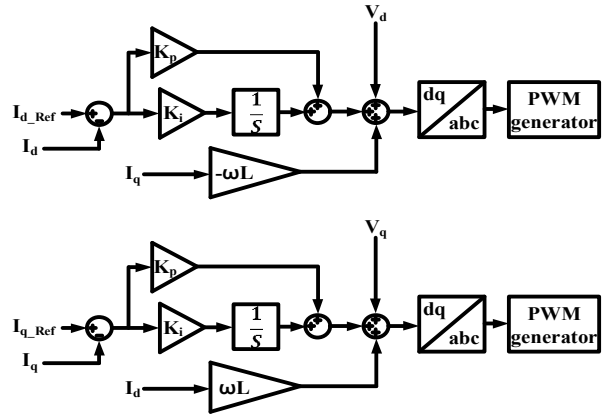


Fig. 10. Feedforward controller of Statcom.  
그림 10. Statcom 전향 제어기

다. Sag, Swell 보상 제어

직렬형 인버터는 전원 측에서 발생하는 Sag 및 Swell을 보상하는 장치로 동작한다. Sag, Swell을 보상하기 위해 전원전압  $V_{Sa}, V_{Sb}, V_{Sc}$ 를  $\alpha\beta$  변환하여 도출된  $V_\alpha, V_\beta$  값을 토대로 Reference 값과 비교하여 Sag, Swell 전압 변화량을 측정하여  $V_a, V_b, V_c$  상으로 변환 후 보상해주는 형태이다.

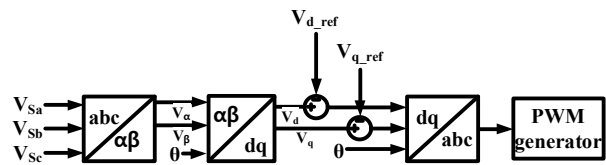


Fig. 11. Voltage controller of DVR.  
그림 11. DVR 전압 제어기

라. SVC 무효전력 보상 제어

SVC는 병렬형 인버터와 무효전력 보상기로 동작한다. 전원전압  $V_{Sa}, V_{Sb}, V_{Sc}$ 와 전원전류  $I_a, I_b, I_c$ 를 통해 무효전력 값을 산출해주고 산출된 무효전력 값을 평균값으로 산출한다. 산출된 값을 무효전력 Reference와 비교하여 Error 값을 산출한 다음 계통에서 발생하는 무효전력의 역수로 보상하기 위해  $-1$ 을 취해주고, PI제어기를 통해 점호각을  $90^\circ \sim 180^\circ$  사이로 도출한다.

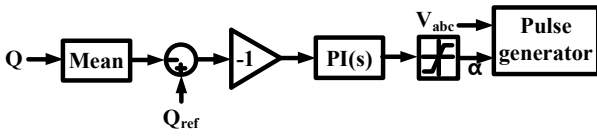


Fig. 12. Current controller of SVC.  
그림 12. SVC 전류 제어기

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 SVC 결합형 UPQC 시스템의 동작 및 성능을 Matlab Simulink를 이용해 검증하였다. 직렬형 인버터를 통해 계통에서 발생하는 Sag, Swell 보상을 시뮬레이션 하였으며, 병렬형 인버터와 SVC를 통해 부하에서 발생하는 무효전력 보상을 시뮬레이션 하였다,

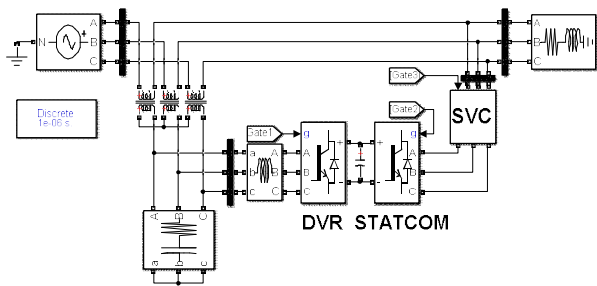


Fig. 13. Matlab Simulink Simulation model.  
그림 13. Matlab Simulink 시뮬레이션 모델

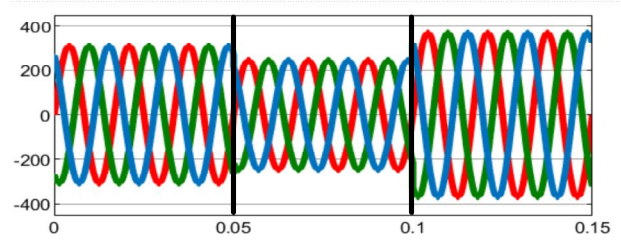
Table 1. Simulation System parameter.

표 1. 시뮬레이션 시스템 파라미터

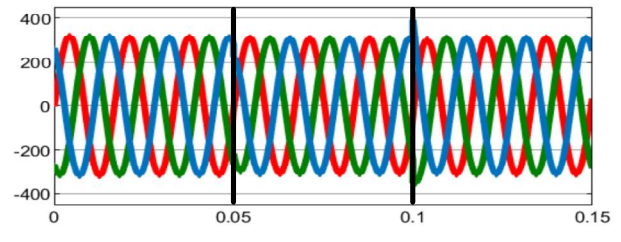
Parameters	Value
Source Voltage	380[V], 60[Hz]
Active Power	10[kW]
Reactive Power	8[kVar]
SVC L,C	176[μH], 50[mF]
DVR LC Filter	0.1[Ω], 10[μH], 1[μF]
DC-Link Voltage	200[V]

그림 14는 계통전압  $V_s$ 에서 Sag 및 Swell이 발생한 상황을 가정하였을 때의 시뮬레이션 결과 파형이다. 0.05s에 0.8p.u로 Sag를 발생시켰고, 0.1s에서는 1.2p.u의 Swell이 발생하였다. 부하전압  $V_L$ 은 계통전압의 변화에 관계없이 DVR에 의해 보상되어 1p.u 값으로 유지하는 것을 확인할 수 있다.

그림 15는 계통의 무효전력  $Q_s$ , 부하에서 발생하



(a)



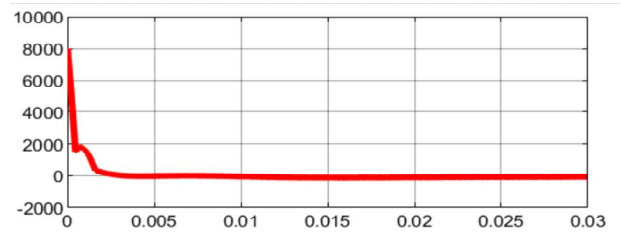
(b)

Fig. 14. Sag, Swell compensation simulation

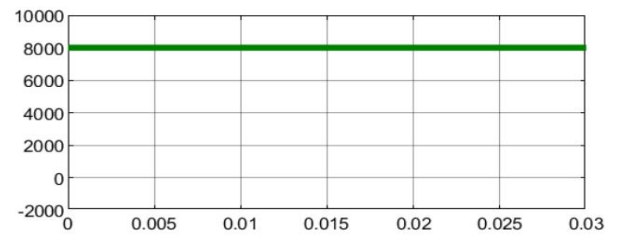
(a)  $V_s$  Source voltage (b)  $V_L$  Load voltage.

그림 14. Sag, Swell 보상 시뮬레이션

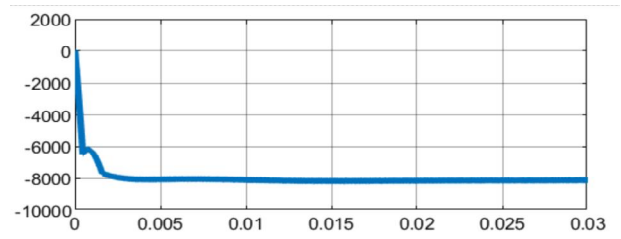
(a)  $V_s$  계통전압 (b)  $V_L$  부하전압



(a)



(b)



(c)

Fig. 15. Reactive compensation simulation

(a)  $Q_s$  Source reactive (b)  $Q_L$  Load reactive

(c)  $Q_C$  Compensation reactive.

그림 15. 무효전력 보상 시뮬레이션 (a)  $Q_s$  계통 무효전력

(b)  $Q_L$  부하 무효전력 (c)  $Q_C$  보상 무효전력

고 있는 무효전력  $Q_L$ , 병렬형 인버터와 SVC를 통해서 보상되는 무효전력  $Q_C$ 에 관한 시뮬레이션 결과를 도시하고 있다. 부하에 의해 무효전력이  $8kVar$ 로 발생하고 있고, 병렬형 인버터와 SVC는 부하에서 발생하는 무효전력에 대해 반대의 극성으로  $-8kVar$ 를 보상하여 계통의 무효전력 값을 0으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

그림 16의 시뮬레이션 파형은 STATCOM 및 SVC에서 무효전력 보상 시 출력전압의 차이를 보여주고 있다. SVC의 출력전압 계통과 동일한 전압으로 출력되는 결과를 보였고, STATCOM의 출력전압은 약  $47V$  정도로 낮은 전압을 확인할 수 있었다. 결과적으로 낮은 인버터 구동전압의 요구를 확인하였고 본 논문에서 제안한 낮은 DC 링크 전압을 유지할 수 있음을 확인하였다.

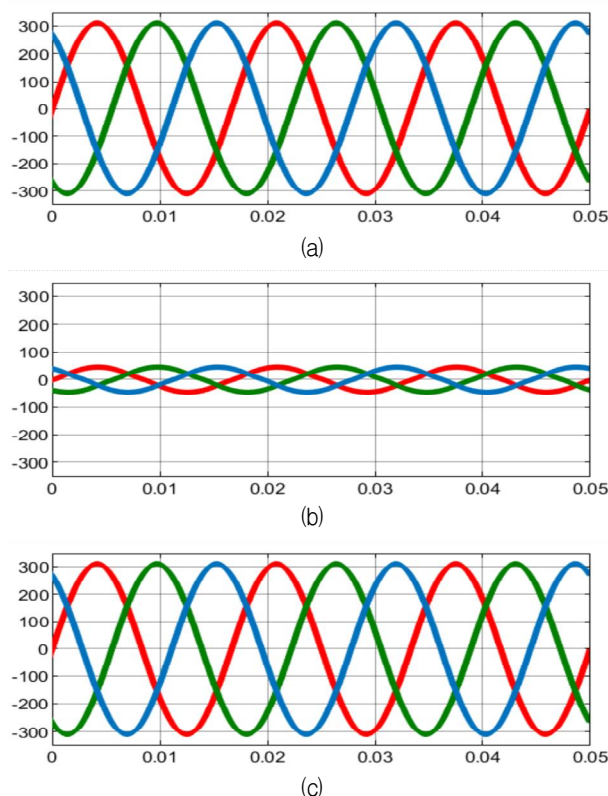


Fig. 16. Voltage wave (a)  $V_s$  Source voltage (b) STATCOM voltage (c) SVC voltage.

그림 16. STATCOM, SVC 출력전압 파형 (a)  $V_s$  계통전압 (b) STATCOM 전압 (c) SVC 전압

### V. 결론

본 논문에서는 전력품질을 향상시키기 위한 전력

품질 보상장치로 SVC 결합형 UPQC를 제안하였다. 기존의 UPQC는 DVR과 STATCOM을 결합하여 우수한 전력품질 보상 성능을 보였지만 무효전력 보상 범위를 넓히기 위해서는 높은 정격의 인버터가 필요했고, DC 링크 전압이 높아 다양한 재생에너지 발전원의 연계가 어려운 단점을 가지고 있었다. 제안된 SVC 결합형 UPQC는 병렬형 인버터 출력단에 SVC를 결합하여 UPQC의 무효전력 보상범위를 넓혀주었으며, 인버터 정격전압을 낮게 설정하여 DC 링크 전압을 낮게 요구함으로써 다양한 재생에너지 발전원과의 연계를 가능하도록 하였다.

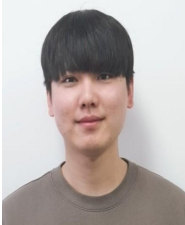
### References

- [1] Vinod Khadkikar, "Enhancing Electric Power Quality Using UPQC: A Comprehensive Overview," *IEEE Transaction on power electronics*, vol. 27, No. 5, 2012. DOI: 10.1109/TPEL.2011.2172001
- [2] M. Basu, S. P. Das, G. K. Dubey, "Investigation on the performance of UPQC-Q for voltage sag mitigation and power quality improvement at a critical load point," *IET Generation Transmission & Distribution*, vol. 2, No. 3, pp. 414-423, August 2008. DOI: 10.1049/iet-gtd:20060317
- [3] L. Gyugyi, "Power electronics in electric utilities: static var compensators," *Proceedings of the IEEE*, vol. 76, No 4, 1988. DOI: 10.1109/5.4433
- [4] Ganesh Kumar Venayagamoorthy, Sandhya Rani Jetti, "Dual Function Neuron Based External Controller for a Static Var Compensator," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 23, No. 2, 2008. DOI: 10.1109/PES.2008.4596659
- [5] Hamid Reza Mohammadi, Ali Yazdian Varjani, Hossein Mokhtari, "Multiconverter Unified Power Quality Conditioning System: MC-UPQC," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 24, No. 3, 2009. DOI: 10.1109/TPWRD.2009.2016822
- [6] Metin Kesler and Engin Ozdemir, "Synchronous Reference Frame Based Control Method for UPQC Under Unbalanced and Distorted Load Conditions," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 58, No. 9, 2011. DOI: 10.1109/TIE.2010.2100330

---

**BIOGRAPHY**


---

**Soo-Han Pyo** (Member)

2018 : BS degree in Electrical Engineering, Mokpo National University.

2018~ : Graduate student in School of Electrical Engineering, Mokpo National University.

**Jang-Hyun Park** (Member)

1995 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1997 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2002 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2013~Present : Professor, Dept. Electrical and Control Engineering, Mokpo National University

**Jeong-Sik Oh** (Member)

2016 : BS degree in Electrical Engineering, Mokpo National University.

2018 : MS degree in Electrical Engineering, Mokpo National University.

2018~Present : PhD course in Electrical Engineering, Mokpo National University.

**Tae-Sik Park** (Member)

1994 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1996 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2000 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2000~2005 : Senior Engineer, Samsung Electronics.

2005~2013 : Administrative Official, Korea Intellectual Property Office.

2013~Present : Assistant Professor, Mokpo National University.