

# 배전용 정지형 보상기의 개선된 직류단 커패시터 전압제어

김호열, 최종우  
경북대학교

## Improved dc-link capacitor voltage control of Distribution Static Compensator

Ho-Yeol Kim and Jong-Woo Choi  
Kyungpook National University

### ABSTRACT

Researches about DSTATCOM are mainly divided two parts, one is the calculation of the load-side average active power and dc-link capacitor average voltage, the other part is the current control. This paper proposes a calculation of dc-link capacitor average voltage using improved method instead of conventional method using LPF (low pass filter). Through the theoretical analysis and simulation under unbalance loads and non-linear load, the proposed method is verified.

### 1. 서론

배전용 정지형 보상기는 대용량 변동부하, 비선형 부하 또는 불평형 부하로 인한 고조파 전류와 불평형 전류가 계통으로 유입되는 것을 보상함으로써 배전선로를 보호한다. 배전용 정지형 보상기에 관한 연구는 최근 들어 활발히 진행되고 있는데 크게 전원측과 부하측의 전압, 전류로부터 배전용 정지형 보상기의 유효전력의 맥동치를 계산하는 연구와 직류단 커패시터의 평균전압을 계산하는 연구, 실제 전류 제어를 수행하는 부분에 관한 연구로 나누어 진행되고 있다. 저역통과필터를 사용하여 직류단 커패시터의 평균전압을 계산하는 기존의 방법은 차단주파수가 낮아짐에 따라 전압제어기의 대역폭도 같이 낮아져야 하고, 이는 저역 통과 필터의 차단주파수가 시스템의 동특성에 제약을 가해 시스템의 안정성을 보장하지 못하게 된다. 본 논문에서는 기존의 저역통과필터를 사용하여 평균전압의 계산방법이 가진 문제점을 개선하여 부하측 맥동 전류로부터의 평균전력을 계산하는 방법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 우수성을 입증한다.

### 2. 기존의 저역통과 필터를 이용한 평균전압 계산

그림1은 배전용 정지형 보상기의 제어 블록도이다. 그림 1에서  $LPF_{vc}$ 는 직류단 커패시터 전압제어기에 사용되는 저역통과필터이다. 유효전력의 맥동을 보상하게 되면 인버터의 직류단 커패시터 전압에도 전압맥동이 발생한다. 맥동이 발생한 직류단 커패시터 전압을 제어기의 입력으로 그대로 사용하면 직류단 커패시터 전압을 일정하게 유지하기 위한 지령값과 유효전력의 맥동을 보상하기 위한 지령값이 서로 상쇄되어 유효전력의 맥동을 보상할 수 없

게 된다. 따라서 저역통과필터를 사용해 맥동이 포함된 직류단 커패시터 전압으로부터 평균전압을 구해 이를 제어기 입력으로 사용한다. 하지만 저역통과필터에서 발생하는 시지연이 시스템의 안정도에 영향을 미치게 된다. 그림1의 직류단 커패시터 전압제어기에서 저역통과필터가 있을 경우 전달함수를 구하여 Routh-herwitz criterion을 이용해 저역통과필터의 차단주파수와 직류단 커패시터 전압제어기의 대역폭의 관계식을 구하면 식(1)과 같다.

$$\omega_{vc} < 2\zeta[(1-2\zeta^2) + \sqrt{4\zeta^4 - 4\zeta^2 + 2}]^{1/2} \omega_{vc\_LPF} \quad (1)$$

저역통과필터가 맥동을 제거하는 능력은 차단주파수가 낮을수록 좋아진다. 하지만 차단주파수가 낮아짐에 따라 직류단 커패시터 전압제어기의 대역폭도 같이 낮아져야 하고, 이는 저역통과필터의 차단주파수가 시스템의 동특성에 영향을 주게 된다. 따라서 저역통과 필터를 사용해 평균전압을 계산하는 방법은 시스템의 안정도와 동특성에 영향을 끼치는 문제점을 가지게 된다.

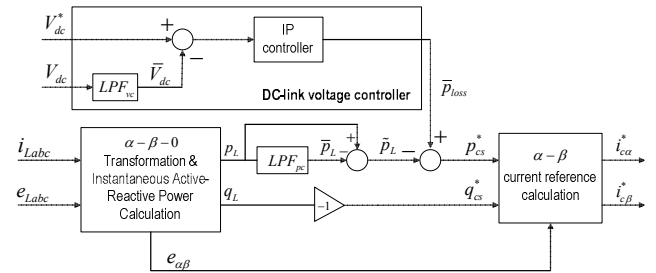


그림1. 배전용 정지형 보상기의 제어 블록도

### 3. 제안된 평균전압 계산

부하가 불평형할 경우나 비선형일 경우 부하의 유효전력은 순시 유효전력 이론에 의해 구할 수 있다. 부하측 유효전력을 저역통과필터(low pass filter: LPF)로 평균값을 구하면 유효전력의 맥동치만 추출할 수 있다. 부하측 유효전력의 맥동치를 알면 식(2)와 같이 직류단 커패시터 전압의 맥동치를 알 수 있다.

$$\frac{1}{2} C_{dc} \frac{d(\bar{V}_{dc} + \tilde{V}_{dc})^2}{dt} = \tilde{P}_L \quad (2)$$

여기서  $C_{dc}$ 는 직류단 커패시터의 용량[F]이다. 전압의 맥동치를 구하면 식(3)과 같이 실제 전압과 맥동치의 차이에 의해 평균전압을 구할 수 있다.

$$\bar{V}_{dc} = V_{dc} - \tilde{V}_{dc} \quad (3)$$

그림2는 제안된 직류단 커패시터 평균전압 계산 블록도이다. 그림2에서 고역통과필터(high pass filter: HPF)는 오프셋(off-set)전압을 제거하기 위해 사용되었다.

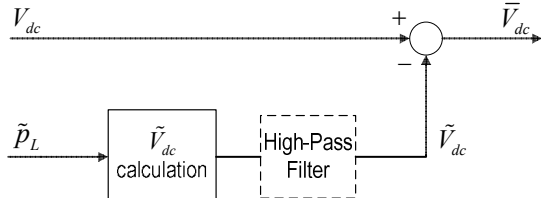


그림2. 제안된 직류단 커패시터 평균전압의 계산 블록도

## 4. 모의실험

### 4.1 모의실험조건

표 1. 모의실험 조건

전원의 선간전압	220V	
직류단 커패시터 전압 지령	350V	
직류단 커패시터 용량	2.82mF	
결합인덕터 용량	2.8mH	
전류제어기 대역폭	3000rad/s	
맥동유효전력 제거용 LPF 차단주파수	12Hz	
직류단 커패시터 제거용 차단주파수 (직류단 커패시터 전압제어기 대역폭)	30Hz (150rad/s)	
불평형 부하	a상, b상	10Ω, 10mH
	c상(부하변동 전/후)	7Ω, 7.5mH / 4Ω, 5mH
비선형 부하	0.7s 부하변동	

### 4.2 결과파형

#### 4.2.1 불평형 부하

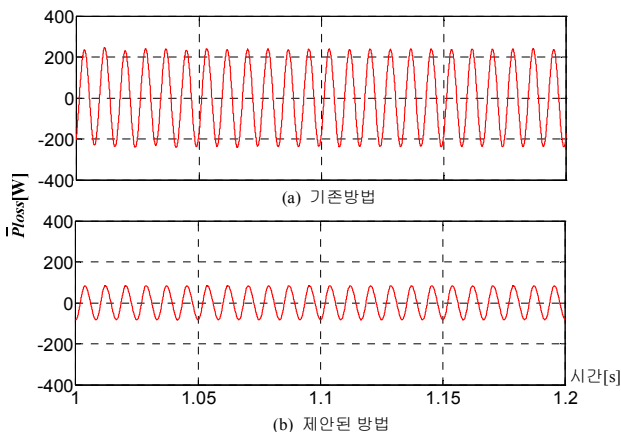


그림 3. 직류단 커패시터 전압제어기 출력

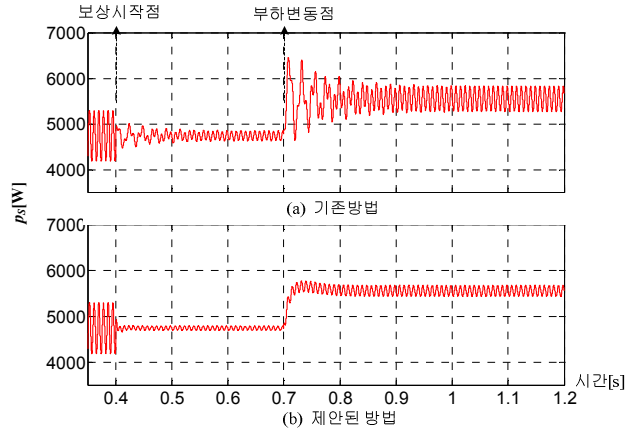


그림4. 전원측 순시 유효전력

#### 4.2.2 비선형 부하

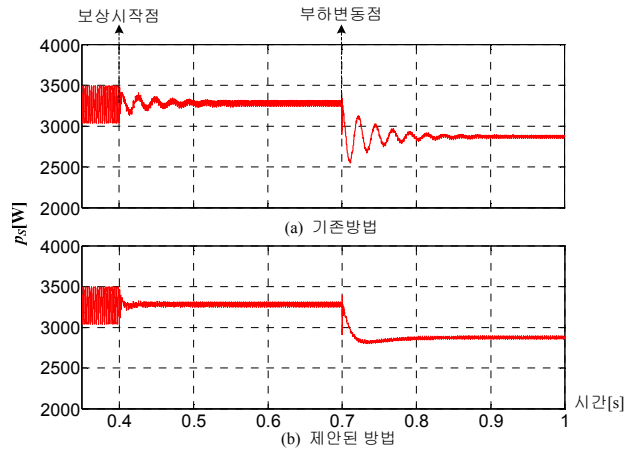


그림5. 전원측 순시 유효전력

그림3은 불평형 부하일 경우 부하변동에 따른 정상상태에서 직류단 커패시터 전압제어기 출력 비교파형이고, 그림4는 전원측 순시유효전력 비교파형이다.

그림5는 비선형 부하일 경우 부하변동에 따른 전원측 순시유효전력 비교파형이다.

## 5. 결론

본 논문은 기존의 저역통과필터로 구한 직류단 커패시터 평균 전압 계산의 문제점을 분석하고 제안된 방법으로 구한 평균 전압 계산과 불평형 및 비선형 부하를 가정하여 모의실험을 통해 두 가지 방법의 결과를 비교함으로써 제안한 방법의 우수성을 검증하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2007-P-EP-HM-04-0000)

### 참고 문헌

[1] H.Akagi, Y.Kanzawa and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components." IEEE Transactions on Industry Applications, vol.20, pp.625-630, May/June 1984