

배전용 정지형 보상기의 위상변이를 이용한 순시 유효/무효전력 보상

홍성민, 최종우
경북대학교

Instantaneously Active/Reactive Power Compensation of Distribution Static Compensator using Phase Shift

Sung-Min Hong and Jong-Woo Choi
Kyungpook National University

Abstract

DSTATCOM(Distribution STATic COMPensator) is one of the custom power devices, and protects a distribution line from unbalanced and harmonic current caused by non-linear and unbalanced loads. Conventional researches use a LPF(Low Pass Filter) to eliminate ripple component at the calculation of compensation current.

This paper proposes a calculation of compensation current using phase shift that can be a counterproposal of conventional methods using LPF.

1. 서론

배전 계통에서 불평형 선형 부하, 심하게 왜곡된 비선형 부하는 인근의 배전선로에 전압의 순간적인 급강하 또는 급상승, 고조파를 유발시킨다. 이러한 변동부하나 비선형 부하에 일반적으로 설치되는 DSTATCOM은 순간적으로 발생하는 고조파 및 전압의 변동과 같은 외란에 신속하게 대처함으로써 배전 선로를 보호한다.

기존의 DSTATCOM의 부하 측의 순시 유효전력의 맥동을 보상하기 위해 저역 통과 필터를 사용해 순시 유효전력으로부터 맥동 유효전력을 구한다. 저역 통과 필터를 거친 순시 유효전력은 저역 통과필터의 차단주파수가 낮을 수록 그리고 저역 통과필터의 차수가 높아질수록 맥동이 많이 줄어드는데, 이 때 유효전력이 평균값이 변동이 없이 일정하다면 문제되지 않으나, 대용량 부하의 탈락과 같은 부하의 급변한 변동이 발생하면 유효전력도 급변하게 된다. 이와 같은 경우에 저역 통과 필터의 차단주파수가 낮으면 과도 상태 제어 성능이 나빠진다. 그리고 필터의 차단주파수를 높이면 맥동을 제대로 걸러내지 못하게 되는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 3상 3선식 계통의 비선형 부하에서 위상변이 방법을 이용하여 맥동성분의 보상 전류 지령치를 만들어 전원 측의 전류가 보상됨을 모의 실험을 통해 비교, 분석하여 성능이 향상됨을 검증한다.

2. 본론

2.1 저역 통과 필터(LPF)를 이용한 순시 유효전력 보상

그림 1은 배전용 정지형 보상기의 전류지령 계산 블록도다. 부하측 평균 유효전력을 구하기 위해 저역 통과 필터가 사용된 것을 알 수 있다.

그리고 순시 유효전력의 맥동성분을 보상하기 위해서는 부하 측의 순시 유효전력(p_L)에서 평균 유효전력(\bar{p}_L)

을 제외한 나머지 맥동성분인 \tilde{p}_L 과 부하가 반대인 $-\tilde{p}_L$ 를 계통으로 주입하면 된다. 이 때 부하측 순시 유효전력으로부터 평균 유효전력을 구하기 위해 저역 통과 필터가 사용되는데, 1차 저역 통과 필터를 사용할 경우 순시 유효전력의 맥동성분인 \tilde{p}_L 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{p}_L(s) &= p_L(s) - \bar{p}_L(s) \\ &= \left(1 - \frac{\omega_{cp_LPF}}{s + \omega_{cp_LPF}}\right) p_L(s) = \left(\frac{s}{s + \omega_{cp_LPF}}\right) p_L(s) \quad (1) \end{aligned}$$

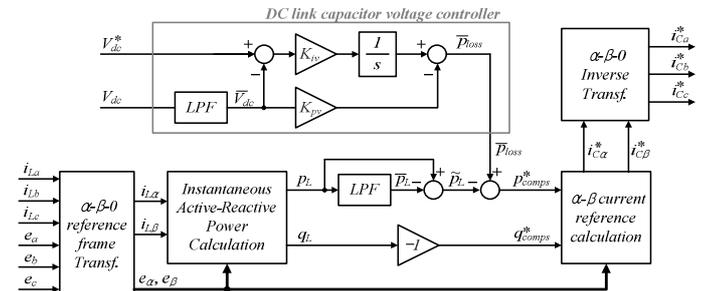


그림 1 배전용 정지형 보상기의 전류지령 계산 블록도

Fig. 1 Block diagram of current reference calculation for DSTATCOM

2.2 위상변이 방법을 이용한 순시 유효전력 보상

순시 유효전력은 일반적으로 직류 성분과 짝수 차수의 맥동 성분의 합으로 이루어져 있다. 순시 유효전력의 맥동 성분을 보상하기 위하여 식(2)와 같이 순시 유효전력의 주파수의 위상변이를 통하여 두 식을 더하면 일정 부분의 맥동성분을 규칙적으로 상쇄하고, 남은 성분을 0.5배 하면 특정 고조파성분을 걸러낸 순시 유효전력의 평균값을 알 수 있다.

$$P_L = P_{L_DC} + P_{L_2\omega} + P_{L_4\omega} + \dots \quad (2)$$

$$P_{L_2\omega\ shift} = P_{L_DC} + P_{L_2\omega\ shift} + P_{L_4\omega\ shift} + \dots$$

그림 2는 위상변이 블록도다. 90도 위상변이를 하였을 때, $\cos(2\omega t)$ 는 $\cos\{2(\omega t - 90^\circ)\}$ 로 되어 $-\cos(2\omega t)$ 가 되고, 기존의 2ω 성분의 고조파와 더하면 상쇄되고, 2ω 성분 외에 $2\omega(2n-1)$ 의 고조파 맥동 성분도 함께 사라진다.

$\cos(4\omega t)$ 는 45도 위상변이를 하였을 때, $-\cos(4\omega t)$ 되어

상쇄되고, 이 때도 4ω 성분과 $4\omega(2n-1)$ 고조파의 맥동 성분이 함께 없어지는 일정한 규칙을 가진다.

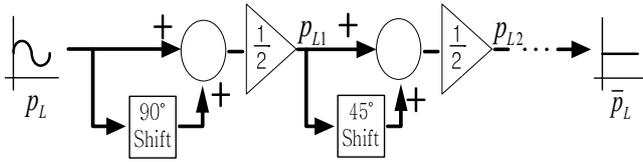


그림 2 위상변이(Phase shift) 블록도
Fig. 2 Block diagram of Phase shift

3. 모의 실험

모의 실험에는 MATLAB Simulink를 사용하였고, 비선형 부하와 평형부하를 모델링 하여 병렬로 부하를 구성하였다.

0.1초에 보상을 시작하였고, 0.5초에 부하의 변화를 주고 모의실험을 하고, 분석하였다.

표.1 모의실험 조건

전원전압	220[V], 60[Hz]
DC 커패시터 전압지령	350[V]
평형부하	20[Ω], 10[mH] → 10[Ω], 5[mH]
비선형부하	470[μF], 60[Ω] → 330[μF], 40[Ω]
DC 커패시터 용량	2.82[mF]
결합 인덕터 용량	2.8[mH]
전류제어기 대역폭	3000[rad/s]
전압제어기 대역폭	30[rad/s]

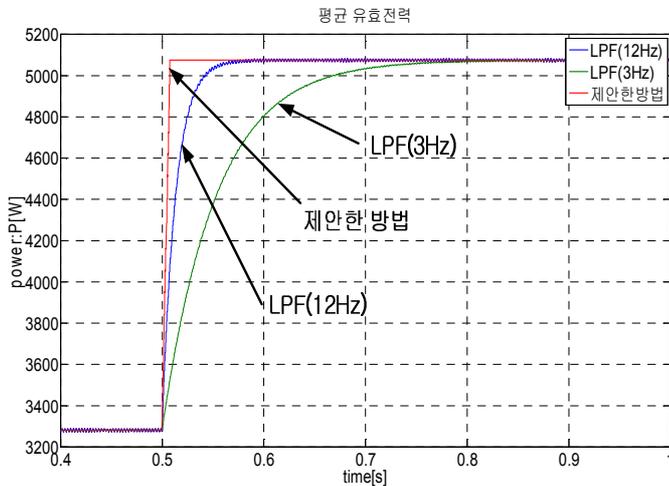


그림 3 부하측 평균 유효전력
Fig. 3 Average active power at load side

저역 통과 필터의 차단 주파수를 3Hz와 12Hz로 하여 제안한 방법과 비교하였다. 그림 3에서 제안한 방법이 부하 변동 때, 순시 유효전력의 평균값을 빠르게 추종하는 것을 볼 수 있다.

과도상태시 전류 보상 지령치가 평균값을 빠르게 추종하는 제안한 방법이 저역 통과 필터를 사용한 방법보다 전류 지령치를 더욱 빠르고 정확하게 도출하기 때문에 실제 보상을 거친 그림 4 유효전력에서 장점을 보인다.

그림 5에서 정상상태에서 실제 보상된 유효전력의 맥동 성분이 제안한 방법이 기존의 저역 통과필터를 이용하였을 때보다 작게 나타나 좋은 특성을 보인다..

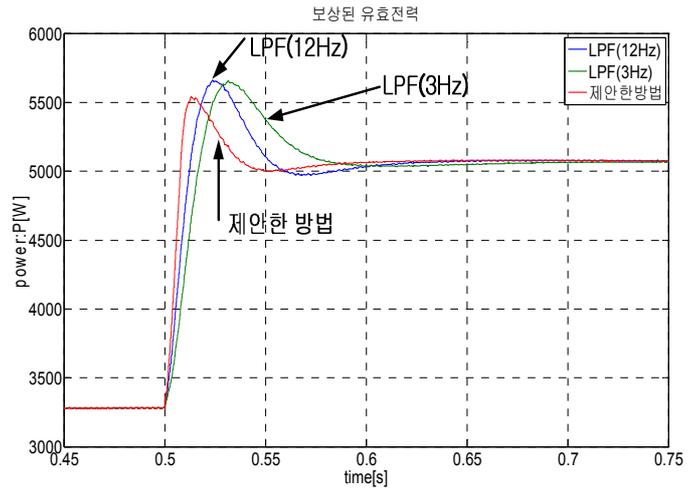


그림 4 전원측 유효전력
Fig. 4 Active power at source side

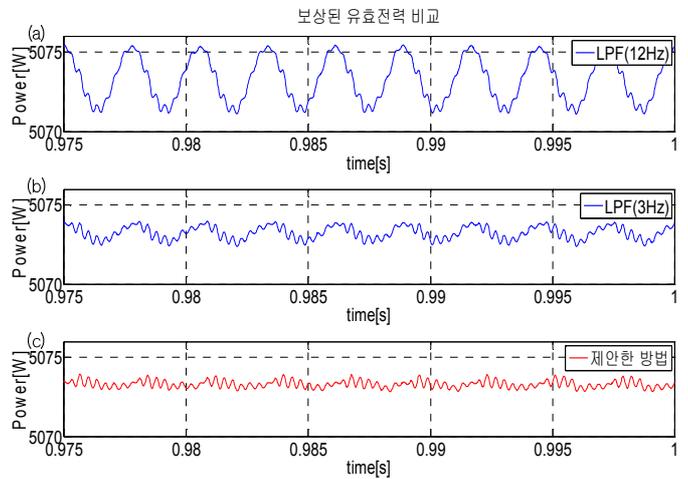


그림 5 정상상태에서의 전원측 유효전력
Fig. 5 Active power at source side in the steady state

4. 결론

본 논문은 배전용 정지형 보상기의 순시 유효전력의 평균값을 새로운 방법을 통하여 개선된 전류 지령 계산 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 3상 3선식의 비선형부하 변동 실험조건에서 LPF(12Hz), LPF(3Hz), 제안한 방법을 이용하여 평균 유효전력, 보상된 순시 유효전력, 전원 측의 보상된 전류를 비교하여 제안한 방법이 과도상태, 정상상태에서 좋은 특성을 보임을 시뮬레이션을 통하여 위와 같은 효율성을 가진다는 것을 검증하였다.

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

Reference

- [1] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Transactions on Industry Application, vol. 20, pp. 625-630, May/June 1984.
- [2] 김형수, 최중우, "배전용 정지형 보상기의 상태관측 이론을 이용한 순시 유효/무효전력 보상" 2007년 12월 경북대 석사학위 논문