

전류 예측 방법을 이용한 능동전력필터를 위한 데드비트 전류 제어기

김범준¹, 최성춘¹, 배성훈¹, 김영렬², 원충연¹
 성균관대학교¹, 안양대학교²

A Deadbeat Current Controller using Predictive Current Method for Active Power Filter

Bum Jun Kim¹, Seong Chon Choi¹, Sung Hoon Bae¹, Young Real Kim², Chung Yuen Won¹
 Sungkyunkwan University¹, Anyang University²

ABSTRACT

This paper proposes a deadbeat current controller using predictive current method for three phase shunt active power filter (SAPF). In proposed controller, the compensating current reference which is necessary for the deadbeat control is estimated by using the predictive current method. This method can improve the accuracy of compensation and ensure the fast dynamic response of SAPF. Simulations have been carried out to demonstrate the performance of SAPF using proposed control method.

1. 서론

전력 계통은 비선형부하를 가질 경우 전력을 전달하는 과정에서 전원 측 전류에 고조파 성분이 발생하게 되는데 이러한 고조파 성분 전류는 전원 전압을 왜곡시키거나 전력 시스템의 역할을 줄이는 원인이 된다. 양질의 변환된 전력을 얻기 위해서 능동전력필터를 통해 이러한 고조파 성분과 무효전류 성분이 보상 되어야 한다^[1]. 능동전력필터에서 지령 전류는 비선형 부하의 고조파 성분으로 인하여 정상상태 시에도 고조파 성분을 포함하기 때문에 전류 제어기의 높은 동특성을 요구한다. 데드비트 제어 기법은 다음 샘플링 시간에 전류 지령을 완벽하게 추종하도록 하는 기법으로 빠른 동특성을 가지지만 연산 시간으로 인한 지연이 발생하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 2 샘플링이 앞선 부하 전류를 예측할 수 있는 2 샘플링 기법^[2]을 이용하여 다음 샘플링 시점의 정확한 전류 지령치를 구하였다. 그리고 데드비트 제어기법을 활용하여 다음 샘플링 시점에 반드시 지령전류를 추종하도록 하여 전류 제어기의 동특성을 개선하고 능동전력필터가 고조파 전류와 무효 전류 성분을 보다 정확하게 보상하도록 하는 데드 비트 전류 제어기를 제안한다.

2. 시스템 구성

2.1 고조파 보상전류 예측 방법

본 논문에서는 그림 1의 병렬형 능동전력필터에서 고조파 보상 전류를 예측하기 위해서 주기성을 갖는 비선형 부하의 동기좌표계 d q축 성분을 60°구간 마다 행렬을 이용하여

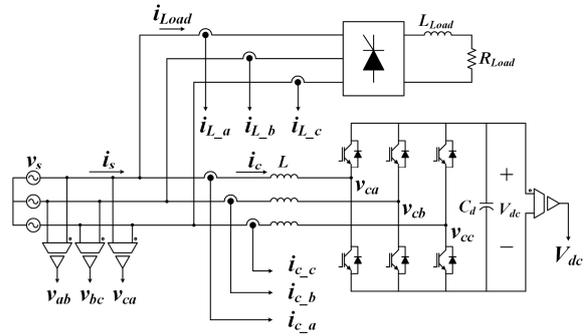


그림 1 병렬형 능동전력필터의 전체 회로도
 Fig. 1 Configuration of shunt active power filter

저장하는 2 샘플링 기법을 사용한다. 동기좌표계 d q 축 성분을 저장하는데 필요한 샘플링의 수를 N, 샘플링 주기를 T_s 라 하면 $NT_s : \frac{1}{60} = 60^\circ : 360^\circ$ 에서

$$N = \frac{1}{360T_s} \quad (1)$$

이 때 저장된 N개의 샘플링을 이용하여 2 샘플링이 앞선 부하 전류의 동기좌표계축 d q축 성분은 다음과 같다.

$$i_{L_dep}(k) = i_{L_de}(k+2) \quad (2)$$

$$i_{L_qep}(k) = i_{L_qe}(k+2) \quad (3)$$

2.2 데드비트 전류 제어기

그림 1에서 능동전력필터에서 전압 방정식은 다음과 같다.

$$v_s - v_c = L \frac{di_c}{dt} \quad (4)$$

여기서 v_s, v_c 는 각각 계통, 능동전력필터 측의 전압 벡터를 나타내고 i_c 는 능동전력필터의 출력 전류 벡터를 나타낸다. 샘플링 주기 T_s가 충분히 작다면 식 (4)는 k번째 샘플링 시점에서 다음과 같이 근사화된다.

$$v_c(k) = v_s(k) - \frac{L}{T_s}(i_c(k+1) - i_c(k)) \quad (5)$$

이 때 $k+1$ 번째 샘플링 시점에서의 능동전력필터의 출력전류가 지령 전류와 일치한다고 하면 $i_c^*(k+1) = i_c(k+1)$ 에서 식 (5)는 다음의 수식으로 대체된다.

$$v_c(k) = v_s(k) - \frac{L}{T_s}(i_c^*(k+1) - i_c(k)) \quad (6)$$

k 번째 샘플링 시점에서의 출력 전압을 식 (6)을 이용하여 제어 하면 $k+1$ 번째 샘플링 시점에서 출력 전류는 지령 전류를 추종하게 된다.

식 (2), (3), (6)을 이용하면

$$v_{c_de}(k) = v_{s_de}(k) - \frac{L}{T_s}(i_{c_de}^*(k+1) - i_{c_de}(k)) \quad (7)$$

$$v_{c_qe}(k) = v_{s_qe}(k) - \frac{L}{T_s}(i_{c_qe}^*(k+1) - i_{c_qe}(k)) \quad (8)$$

여기서 $i_{c_de}^*(k+1)$, $i_{c_qe}^*(k+1)$ 는 각각 d, q축 지령 전류로 2 샘플링 기법을 통해 예측한 전류를 이용하여 계산된다. d축의 지령은 추출한 d축 고조파 성분의 반대 위상이고 q축의 지령은 전압 제어기의 출력과 추출한 q축 고조파 성분의 합이다.

이 때 식 (7), (8)을 고정좌표계로 변환하면

$$v_{c_ds}(k) = v_{c_de}(k) \cos\theta - v_{c_qe}(k) \sin\theta \quad (9)$$

$$v_{c_qs}(k) = v_{c_de}(k) \sin\theta + v_{c_qe}(k) \cos\theta \quad (10)$$

식 (9), (10)을 SVPWM의 d축, q축 지령 전압으로 하면 $k+1$ 샘플링 시점에서 능동전력 필터의 출력 전류는 예측된 전류 지령치를 추종하게 된다.

그림 2는 제안하는 전류 예측 방법을 이용한 데드비트 제어기의 블록도이다.

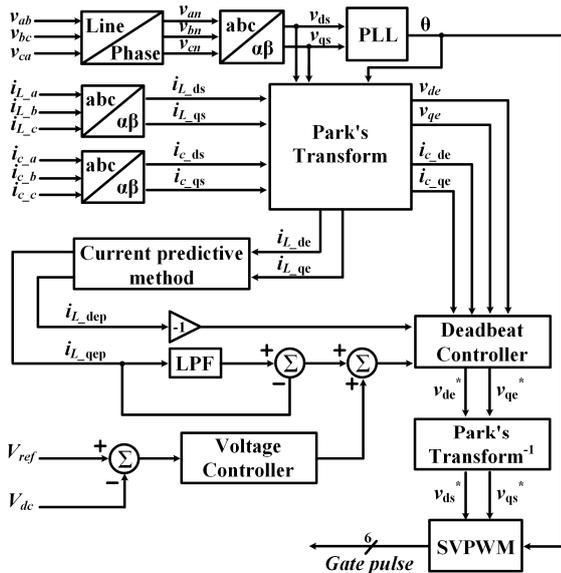


그림 2 전류 예측을 이용한 데드비트 제어 블록도
Fig. 2 Block diagram of deadbeat control using predictive current method

3. 시뮬레이션 결과

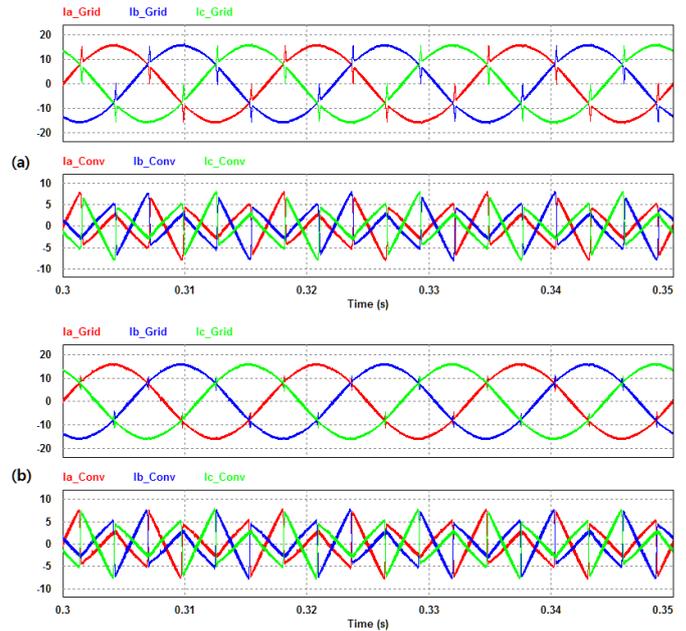


그림 3 시뮬레이션 결과 (a) 기존 데드비트 제어 (b) 제안하는 제어 기법

Fig. 3 Simulation results (a) conventional deadbeat control (b) proposed control method

제안된 시스템을 검증하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 제어 기법을 사용했을 경우 기존 데드비트 제어 방식과 비교하여 THD가 7.61%에서 3.13%로 줄어들었다.

4. 결론

본 논문에서는 부하 전류의 고조파 성분을 정확하게 보상하기 위한 능동전력필터의 새로운 제어 방식을 제안하였다. 제안한 제어 시스템은 2 샘플링 기법을 이용하여 지령 전류를 예측하고 데드비트 제어 방식을 이용하여 동특성이 향상되었다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2014R1A2A2A05006744)

참고 문헌

[1] Park, J.H., "Deadbeat control of three phase voltage source active power filter using sinusoidal tracking model," TENCON 99. Proceedings of the IEEE Region 10 Conference, vol.2, no., pp.1442,1445 vol.2, Dec 1999

[2] Seong Chon Choi, "The improved predictive current control for shunt active power filter with enhanced performance," Transportation Electrification Asia Pacific (ITEC Asia Pacific), 2014 IEEE Conference and Expo, vol., no., pp.1,5, Aug. 31 2014 Sept. 3 2014