전력전자학술대회 논문집 2000. 7.19-22

UPS inverter의 2차 데드비트 응답을 위한 반복부하예측기법

김병진, 최재호
충북대학교 전기전자공학부

Repetitive Load Prediction for Second Order Deadbeat Response Applied to UPS Inverter

Byoungjin KIM, JaeHo CHOI
School of Electrical & Electronics Engineering, Chungbuk National University

ABSTRACT

Repetitive Load Prediction is proposed for the UPS inverter application of the second order deadbeat controller which is robust against the calculation time delay and the parameter variation and which gets fast response against the load variation. The proposed technique predicts the load current ahead of two sampling time using that the load current is periodic. This is effective under nonlinear load condition. The proposed technique is derived theoretically and verified through simulation and experimental result.

1. 서 론

비선형 부하에서 UPS 출력전압의 파형을 깨끗하게 유지시키기 위해서 제어의 응답이 빠른 데드비트 기법이 연구되어 왔다. 그런데 데드비트 제어기는 연산시간지연 및 파라미터 변동에 대하여 매우 민감하기 때문에 실제로 적용하기가 어려웠다. 데드비트 제어의 속응성은 그대로 유지시키면서 그러한 단점을 원천적으로 해결하기 위해 2차 데드비트 제어기가 제안되었다.[1] 제안된 기법은 플랜트의 출력이 그 기준신호를 오버슈트나 정상상태 오차 없이 2 샘플링 시간 안에 추종하도록 한다. 이것은 기존의 1차 데드비트 응답보다 한 샘플링 시간이 더 걸리지만 그렇게 함으로써 연산시간에 대한 문제가 완전히 해결되고 파라미터변동에도 강인하게 된다.

그런데 데드비트 제어기가 UPS 인버터에 적용되기 위해서는 부하전류의 예측이 필요하다. 기존에 제안된 제어기는 1차 데드비트 제어기이므로 부하전류의 예측을 위해 1차 예측 및 2차 예측 그리고 전차 예측 등이 제안되어왔다. 이것들은 한 샘플링 앞선 부하 전류를 예측하는데 사용된다. 그런데 제안된 2차 데드비트 제어기는 2 샘플링 시간 앞선 부하전류의 예측이 필요하다. 본 논문은 이를 위해 반복부하예측기법을 제안한다.

제안된 반복부하예측기법은 부하전류가 정상상태에서 기본파의 주기를 가지는 주기함수라는 점을 이용한다. 즉 한 주기 동안의 전류 파형이 매 주기마다 반복되므로 2 샘플링 시간 앞의 전류는 과거 파형들의 주기상 같은 위치의 값으로부터 예측된다. 이는 비선형부하에서 출력전압의 왜형을 현저하게 줄여준다. 제안된 제어기는 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성이 입증된다.

2. 본 론

2.1 UPS 인버터의 2차 데드비트 전류제어기

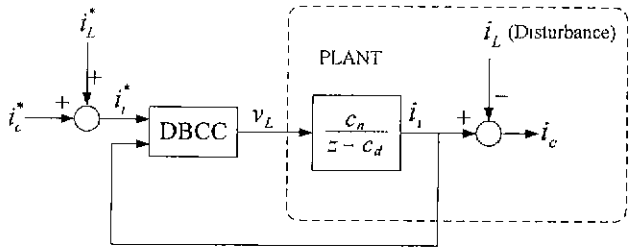

그림 1 UPS 인버터의 2차 데드비트 전류 제어 루프의 블럭도.

Fig. 1 Block diagram of second order deadbeat control loop of UPS inverter.

부하가 변동될 때 짧은 과도응답시간을 가지도록 그리고 비선형 부하에서 출력전압의 파형을 깨끗하게 유지하도록 하기 위해서 UPS 인버터에 데드비트 제어기법이 적용되어왔다. 이 기법은 플랜트의 출력이 오버슈트나 오차 없이 단지 1샘플링 시간

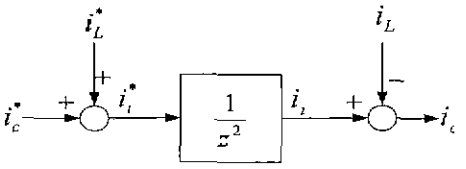

그림 2 등가 전류제어 블록도.
Fig. 2 Equivalent current control block diagram.

안에 그 지령치를 추종하도록 하는 제어기로써 이론적으로는 그 속응성이 매우 우수하나 실제로는 연산시간 지연이나 파라미터 변동에 대한 민감성으로 산업분야에 적용하기에는 무리가 있었다.

이러한 단점을 해결하기 위해 2차 데드비트 제어기법이 제안되었다. 이 기법은 데드비트 제어기 설계시 플랜트에 원점에 위치한 극점을 하나 추가하여 연산시간을 1 샘플링 시간만큼 확보하는 방법이다. 이러한 경우에 데드비트 제어기는 2차가 되는데 이것은 플랜트의 출력이 그 지령치를 2 샘플링 시간 안에 일치함을 의미한다. 이렇게 함으로써 이 데드비트 제어기는 연산시간에 대한 문제점이 자연히 해결된다.

그림 1은 제안된 UPS 인버터의 2차 데드비트 전류제어루프의 블럭도이다. 블록 DBCC는 제안된 2차 데드비트 전류 제어기이다. 플랜트에 있는 블럭은 필터 인덕터에 해당한다. 그림에서 v_L, i_i, i_L, i_c는 각각 인덕터 터미널 전압, 인덕터 전류, 부하 전류, 필터 커패시터 전류이다. 부하는 언제든 변동될 수 있고 또한 비선형 부하가 될 수 있으므로 부하전류를 외란으로 간주한다. 그림에서 i_c^* 와 i_i^*는 각각 커패시터 전류 지령치, 인덕터 전류 지령치가 된다. 그리고 i_L^*는 부하전류의 외란을 소거하기 위한 전향경로이다.

제안된 2차 데드비트 전류제어기는 필터의 인덕터전류가 그 지령치를 2샘플링 안에 오버슈트나 정상상태 오차 없이 일치하도록 제어한다. 만일 제어기가 정상적인 상태라면 그림 1은 그림 2와 같이 바뀌어질 수 있다.

그림 2로부터 다음의 수식이 성립한다.

$$i_c = (i_c^* + i_L^*)z^{-2} - i_L \tag{1}$$

커패시터 전류가 그 지령치에 데드비트 응답을 가질 조건

$$\frac{i_c}{i_c^*} = \frac{1}{z^2} \tag{2}$$

을 만족하기 위해서는

$$i_L^* = i_L z^2 \tag{3}$$

이 되어야 한다. 즉, i_L^*는 실제의 부하전류보다 2 샘플링 시간 앞선 값이어야 한다. 이 값은 미래의 값이므로 직접 얻어올 수 없기 때문에 예측기법이 필요하다.

2.2 반복부하예측(Repetitive Load Prediction)

데드비트제어기에 적용되는 부하전류예측 방법으로 1차 예측기법, 2차 예측기법 그리고 전차 예측기법등이 제안되었으나 이들은 단지 1 샘플링 앞의 값을 예측하는데는 유용하게 쓰일 수 있으나 2 샘플링 앞의 값을 예측하는데는 사용될 수 없다. 본 논문에서는 이를 위해 반복부하예측기법을 제안한다.

대개 UPS의 부하들은 저항부하, R_L 부하 그리고 비선형부하 등으로 볼 수 있다. 이때 부하전류는 모든 경우에 있어서 주기적이다. 특히 출력 전압의 파형을 매우 악화시키는 비선형 부하조차도 그 전류는 주기적이다. 이렇게 부하전류가 주기적이라는 조건을 만족한다면 부하전류의 2 샘플링 시간 앞의 값도 과거의 주기에서 상응하는 값으로 쉽게 예측될 수 있다.

이제 한 주기(T_s)내의 샘플링 수가 N이라 하자. 그러면 주기가 T_s인 어떤 주기신호는 이산적으로 다음과 같이 정의 된다.

$$y[k] = y[k+N] \tag{4}$$

보다 주기신호를 효과적으로 표현하기 위해 다음을 정의하자.

정의 1 $y[i,j]$:

$$y[i,j] = y[k] \tag{5}$$

여기서 i는 k/N의 몫으로 $0,1,2,\cdots$이 되고, j는 k/N의 나머지로 $0 \le j \le N-1$를 만족한다.

예를 들어 N이 10일 때 $y[3]$은 $y[0,3]$이 되고 이것은 제 1주기의 3번째 샘플링 값임을 말하고, $y[20]$은 $y[2,0]$이 되고 제 3주기의 0번째 샘플링 값임을 표현한다.

정의 1을 이용하여 식 (4)의 주기신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y[i,j] = y[i+1,j] \tag{6}$$

매 주기마다 같은 위치에서의 값을 표현하기 위해 다음을 정의 하자.

정의 2 $y[i,J]$:

j가 J인 순간 취득한 $y[i,j]$의 값들로 이루어진 신호.

여기서 정의 2와 식 (6)으로부터 다음의 정리를 도

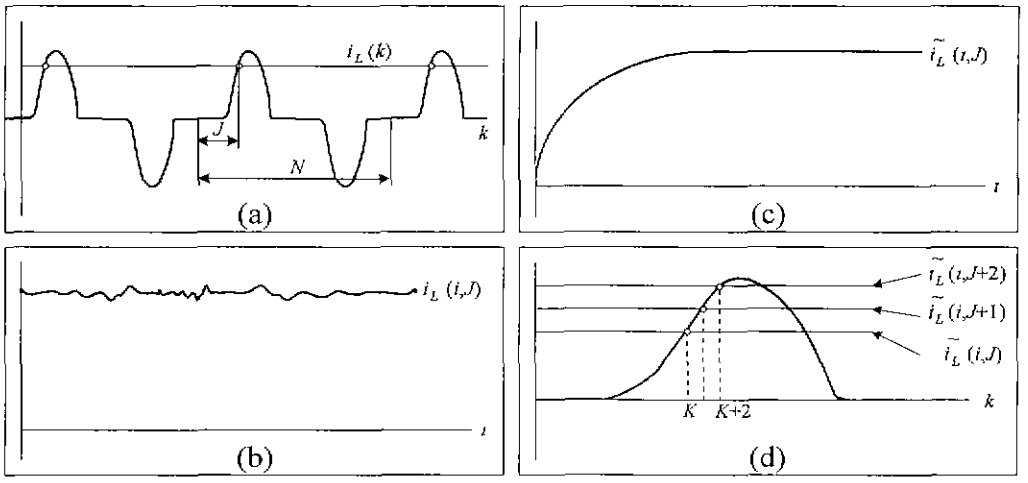

그림 3 부하전류와 반복부하예측. (a) 비선형부하에서 부하전류 파형. (b) j가 J인 순간에만 샘플링된 신호. (c) 저역통과필터를 거친 신호. (d) 반복부하예측전류.

Fig. 3 Load current and repetitive load prediction. (a) Nonlinear load current wave. (b) Sampled signal at the instant that j is J. (c) Lowpass-filtered signal. (d) repetitive load prediction.

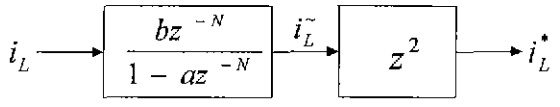

그림 4 제안된 반복부하예측기법의 블럭도.

Fig. 4 Proposed repetitive load prediction method.

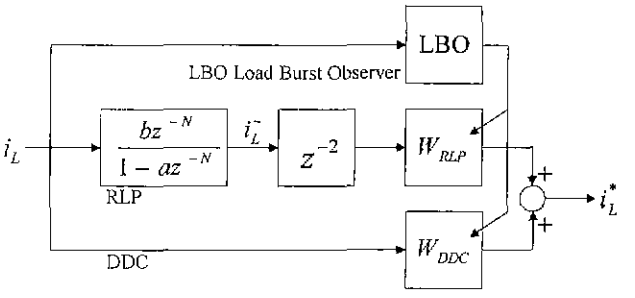

그림 5. 제안된 반복부하예측기.

Fig. 5 Proposed repetitive load Predictor.

출해 낼 수 있다.

정리 1

$y[i,J]$는 상수 신호이다.

정상상태에서 부하전류는 주기신호이므로 정리 1로부터 $i_L[i,J]$는 상수신호이다. 이 신호는 실제적으로 예상치 않은 노이즈가 포함 될 수 있으므로 이를 저역통과 필터로 걸러낸다. 이때의 신호를 $\tilde{i}_L[i,J]$이라 하자. 이것으로 j가 J인 순간에 2 샘플링 시간 앞의 예측부하전류는 $\tilde{i}_L[i,J+2]$로 얻어진다. 이를 반복부하예측기법이라 한다. 제안된 반복부하예측기법은 그림 3으로 설명될 수 있다. 그림 3의 (a)는 주기가 N인 비선형 부하의 전류파형이다. 이 신호에서 j가 J인 순간 샘플링 한 신호는 (b)와 같다. 이 신호를 다시 저역통과 필터로 걸러낸 신호가 (c)이다. K인 순간보다 2 샘플링 시간 앞선 $i_L[K+2]$는 그림 (d)에서 $\tilde{i}_L[i,J+2]$로 얻어짐을 알 수 있다.

제안된 반복부하예측기법은 그림 4와 같다.

2.3 과도상태에서의 대책

제안된 반복부하예측기법은 비선형 부하에서 출력전압의 THD를 대폭 향상시킨다. 그러나 부하가 변동된다면 제안된 기법은 저역통과필터로 말미암아 비교적 긴 과도상태가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 경로를 하나 추가하여 그림 5와 같이 수정한다. 그림에서 보듯이 제안된 반복부하예측기법의 두 경로로 이루어진다. 하나는 반복부하예측경로(RLP) 다른 하나는 직접경로(DDC: Direct Disturbance Cancelation) 이다. 그림에서 W_{RLP}, W_{DDC}는 각각의 경로의 비중치이다. LBO(Load Burst Observer)는 부하가 갑자기 변동했는지를 판단한다. 만일 부하가 변동하였다면 그 순간 W_{DDC}의 값을 '1'로 설정하고 W_{RLP}의 값을 '0'으로 설정하여 반복부하예측경로를 차단하고 부하전류를 직접 피드포워드 하여 과도상태를 보상하고 시간이 흘러감에 따라 점차적으로 두 비중치의 값을 바꾸어 정상상태에 도달했을 즈음 완전히 바뀌도록 한다.

어 정상상태에 도달했을 즈음 완전히 바뀌도록 한다.

2.4 시뮬레이션 및 실험

제안된 반복부하예측기법을 적용한 단상 UPS 인버터의 시뮬레이션 결과들은 다음 그림과 같다. 그림 6은 비선형 부하가 갑자기 투입되었을 때 의 시뮬레이션 결과이다. (a)는 출력전압인데 부하가 갑자기 투입되는 순간에는 DDC 경로로 부하전류가 단순 피트 포워드 되어 출력전압의 파형은 약간 이글거린다. 그림 6에는 정상상태에서 반복부하예측기로 인해 깨끗한 출력전압 파형이 보인다. 그림 7은 부하전류파형과 반복부하예측결과 파형을 비교하였다. 그림 9, 10, 11은 실험 결과 파형이다. 출력전압은 부하 투입시 파형이 약간 일그러지다가 정상상태가 되어 비교적 파형이 깨끗해졌다. 예측된 전류 파형도 시뮬레이션의 경우와 일치한다.

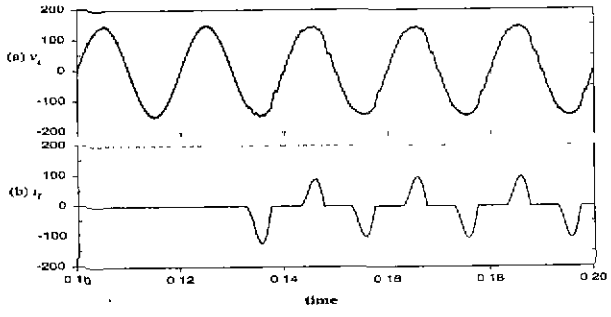

그림 6 부하 투입시 시뮬레이션 결과.
Fig. 6 Simulation waves.

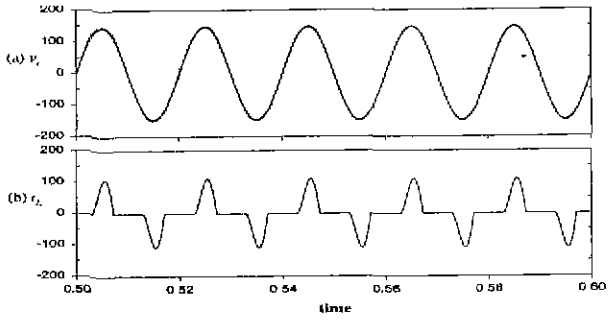

그림 7 정상상태시 시뮬레이션 파형.
Fig. 7 Simulation waves at steady state.

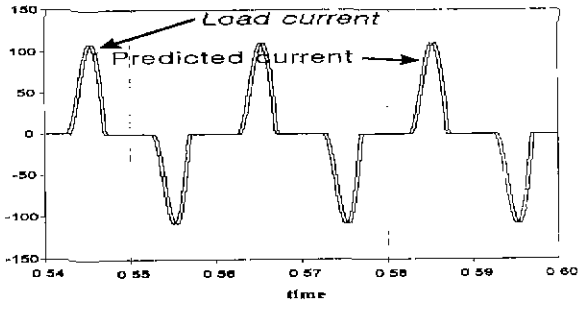

그림 8 부하전류와 예측전류의 시뮬레이션 파형
Fig. 8 Simulation wave of real and predicted current.

3. 결 론

본 논문에서는 2차 데드비트 제어를 위한 반복부하예측기법을 제안하였다. 이 기법은 부하전류의 주기성을 이용하여 부하전류를 2 샘플링 시간 앞서 예측한다. 제안된 기법으로 비선형 부하에서 부하전류의 외란이 효과적으로 제거됨을 시뮬레이션 및 실험을 통해 보였다.

참 고 문 헌

[1] 김병진, 최재호, "연산시간 지연을 고려한 UPS 인버터용 2차 데드비트 전류 제어기의 강인 제어", 전기학회 2000년도 하계학술대회 논문집, 본권, 출간예정, 2000

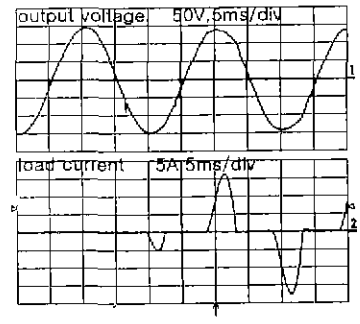

그림 9 부하 투입시 실험 결과.
Fig. 9 Experimental waves.

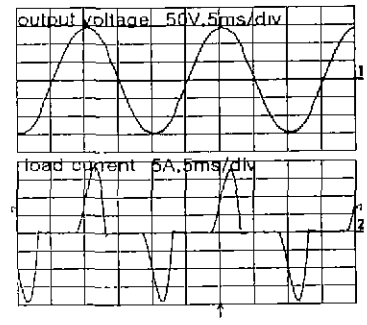

그림 10 정상상태의 실험 파형.
Fig. 10 Experimental waves at steady state.

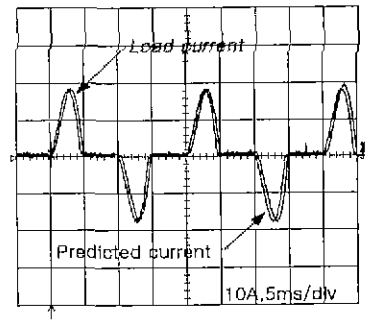

그림 11 부하전류파형과 그 예측파형의 실험결과
Fig. 11 Experimental waves of load current and its predictioed wave.